



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

VYTÁPĚNÍ ELEKTROMOBILŮ

ELECTRIC CARS HEATING SYSTEM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MILAN KOLOMAZNÍK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ HEJČÍK, Ph.D

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Milan Kolomazník

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem c.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Vytápění elektromobilů

v anglickém jazyce:

Electric cars heating systems

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Běžné automobily jsou vytápěny odpadním teplem spalovacího motoru, který však u elektromobilu chybí. Teplo pro vytápění prostoru kabiny je tedy zapotřebí vyrobit jiným způsobem, který však musí být energeticky poměrně málo náročný, aby nedocházelo k výraznému snížení dojezdu elektromobilu.

Cíle bakalářské práce:

Cílem práce je zpracovat rešerši způsobu vytápění a popř. i chlazení elektromobilu a zhodnotit jejich klady a zápory.

Seznam odborné literatury:
<http://www.evcgroup.cz/cs/home.html>

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jiří Hejčík, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 18.11.2011

L.S.

doc. Ing. Zdenek Skála, CSc. prof.
Ředitel ústavu

RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Předmětem této bakalářské práce je formou rešerše popsat způsoby vytápění interiéru elektromobilů. V úvodu práce jsou uvedeny základní pojmy týkající se obecně problematiky elektromobility. Ta je pak dále rozvedena s nastíněním současných problémů, které brání většímu rozšíření těchto vozidel do provozu. Práce podává ucelený přehled nejen o přímých metodách vytápění využívajících elektrický proud, ale i o alternativním způsobu, jímž je nezávislé topení využívající spalovací motor. Dále se zabývá zhodnocením využitelnosti ztrátového tepla, které vzniká v elektrických součástech, jako je elektromotor, frekvenční měnič či baterie. Na základě těchto poznatků byly vytvořeny různé konstrukční návrhy včetně stručného popisu jejich kladů a záporů. Závěr práce se pak zabývá porovnáním a posouzením jednotlivých konstrukčních řešení.

KLÍČOVÁ SLOVA

Elektromobil, baterie (akumulátor), dobíjecí stanice, elektromotor, elektrické vytápění, ztrátové teplo, nezávislé topení, tepelné čerpadlo, Peltierovy články, klimatizace, alternativní způsoby vytápění, frekvenční měnič.

ABSTRACT

The object of this bachelor thesis is a research concerned the electric vehicle interior heating ways. The basic terms connected with the electromobilism general problems are described at the beginning. The following part outlines the current problems that impede the wide expansion of these vehicles. The thesis sums up the direct methods of the heating using electricity and the alternative way, which is a self-sufficient heating using an internal combustion engine. It also assesses the applicability of heat loss emerging in the electric components, such as an electric motor, a frequency converter or an accumulator. Based on these findings, the various constructional drafts were created including a list of their strengths and weaknesses. The conclusion draws a comparison between each of these constructional solutions.

KEYWORDS

Electric vehicle, battery (accumulator), charging station, electric motor, electric heating, heat loss, auxiliary heating, heat pump, Peltier cells, air conditioning, alternative ways of heating, frequency converter.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOLOMAZNÍK, M. *Vytápění elektromobilů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 52 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Hejčík, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci *Vytápění elektromobilů* vypracoval a napsal samostatně, pod vedením vedoucího bakalářské práce Ing. Jiřího Hejčíka, Ph.D. a uvedl všechny použité prameny a literaturu.

V Brně dne 25. května 2012

.....

Milan Kolomazník

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Jiřímu Hejčíkovi, Ph.D. za odborné konzultace, rady a připomínky, týkající se obsahové a formální úpravy práce.

Dále bych chtěl poděkovat všem ostatním za poskytnutí četných technických podkladů a rad prostřednictvím e-mailové či osobní komunikace, zejména: Ing. Jaromíru Marušincovi, Ph.D., Ing. Milanu Kolomazníkovi, Ing. Ditě Černé, Ing. Michalu Gabrielovi a Ing. Tomáši Komrskovi, Ph.D.

OBSAH

1	ÚVOD.....	11
2	ZÁKLADNÍ POJMY	12
3	TEPELNÉ ZTRÁTY	16
3.1	Chlazení elektromotoru	16
3.2	Chlazení frekvenčního měniče	21
3.3	Chlazení baterií	22
3.4	Shrnutí problematiky.....	27
4	PŘÍMÉ VYTÁPĚNÍ.....	29
4.1	Odporové topení.....	29
4.2	Tepelné čerpadlo	31
4.3	Peltierovy články.....	34
4.4	Topení infrazářiči	36
5	KLIMATIZACE.....	37
6	ALTERNATIVNÍ ZPŮSOBY VYTÁPĚNÍ	38
7	KONSTRUKČNÍ NÁVRHY	42
8	ZÁVĚR.....	46

1 ÚVOD

Vytápění elektromobilů je v současné době stále více aktuální problematikou, která souvisí s postupným rozšiřováním těchto vozidel na trh. Vytápět je pak nutné nejenom v zimních měsících, ale topit je potřebné i přes chladnější dny během celého roku. Problematika vytápění dnes není ještě tolik známá, souvisí totiž s nejpálčivějším problémem nově nastupujících elektromobilů, kterým je dojezd. Aby byla zachována ekologičnost, tudíž nulové přímé emise, je elektromobil nejčastěji vytápěn pomocí energie, která je uložena především v bateriích. Existují sice snahy o zavedení palivových článků, avšak toto dnes není běžný způsob uchovávání energie v těchto elektrických vozidlech. Problém baterií, oproti již výše zmíněným palivovým článkům, je takový, že jsou schopny akumulovat poměrně málo energie na jednotku hmotnosti. Z toho vyplývá, že pokud chceme zároveň jezdit a přitom vytápět, spotřeba elektrické energie se podstatně zvýší. Tato spotřeba pak narůstá v závislosti na venkovních klimatických podmínkách, čím je tedy chladněji tím více energie jde na vytápění vozu. Dojezd vozidla pak může klesnout i na 1/4 oproti původnímu předpokladu.

Chceme-li pak v zimních a chladnějších obdobích s elektromobilem zvýšit dojezd co nejvíce, musíme se zamyslet, jak jsme schopni tuto dojezdovou vzdálenost ovlivnit. Možností je mnoho, jedná se o nepřímé cesty, které příliš se samotným vytápěním nesouvisí, ale při maximálním dojezdu hrají určitou roli. Ať už jde o celkovou hmotnost vozidla nebo také karoserii, která zajišťuje lepší aerodynamické vlastnosti jízdy. Také typ použitých pneumatik může dojezd ovlivnit, a to nižším valivým odporem. Přímá cesta zlepšení dojezdu pak vede skrze topný systém samotný. Může jít o snahu využít tepelné ztráty z motoru či baterií, nebo naopak o volbu vhodného elektrického topení. Lze také uvažovat o variantách, které už sice nezajistí bezemisní provoz, nicméně emise razantně eliminují, mluvíme pak o přídatném topném systému. Řešení je tedy celá řada a jednoznačný směr, kterým se tato problematika bude ubírat, zatím stále není jasný.

2 ZÁKLADNÍ POJMY

Dříve než pronikneme do problematiky vytápění elektromobilů jako takové, je dobré znát určitou terminologii, ale také souvislost těchto pojmů v měřítku dnešní reality. Tyto pojmy se dnes stále více dostávají do povědomí lidí, i přesto je však základní terminologie v práci uvedena. Jedním z cílů této práce totiž je, aby byla přínosná i pro neodbornou veřejnost.

Elektromobil

Jde o dopravní prostředek poháněný čistě elektrickou energií, resp. elektromotorem napájeným nejčastěji z baterií. Na elektřinu se však může pohybovat prakticky vše od jízdných kol (elektrokola) přes motorky (elektromotorky), skútry (elektroskútry) až po letadla či lodě a dokonce i vesmírné koráby. [1]

V současné době jsou tyto vozidla ve fázi, kdy probíhá ve velké míře vývoj prototypů, ale i modelů do sériové výroby. Tento trend můžeme nejvíce vnímat u samotných automobilek, které mu věnují opravdu velké úsilí a čím dál více jdou cestou hybridních vozů (tyto vozy kombinují elektromotor s motorem spalovacím) nebo právě cestou elektromobilů. V současné době, i díky vysoké ceně, kterou způsobují především drahé akumulátory, je využívají zejména firmy a různé organizace. V Česku se pak jedná například o Zdravotní záchrannou službu Hlavního města Prahy nebo Zoo Praha. Z firem pak můžeme uvést například Vodafone nebo společnost SIXT, která elektromobily vypůjčuje. Do budoucna by pak růstový trend, kdy by se elektromobily objevily i v domácnostech, mohlo urychlit například zvyšování cen ropy, vyvinutí lepších baterií, které by poskytly delší dojezd, ale také kvalitní síť dobíjecích stanic. [2]

Baterie

Baterie (akumulátor) je zařízení na opakované uchování elektrické energie. Většina akumulátorů je založena na elektrochemickém principu. Proud procházející v elektrochemickém akumulátoru vyvolá vratné chemické změny, které se projeví rozdílným elektrochemickým potenciálem na elektrodách.

Baterie jsou základní stavební částí elektromobilů. Svojí cenou a parametry jsou jedinou limitující součástí elektromobilů, bránící jejich masovému nasazení na našich silnicích. Různá zařízení, zejména přenosná, kladou na akumulátory stále větší požadavky (mobily, notebooky aj.), proto se od roku 1990 do jejich dalšího „raketového“ vývoje investují vysoké prostředky. Kromě kapacity akumulátorů se sledují také další parametry, jako je hmotnost, cena, rozměry, rychlost dobíjení, paměťový efekt, počet možných hloubkových dobíjecích cyklů, samovybíjení a mnohé další. Tyto parametry budou jedním z klíčových ukazatelů, které ovlivní budoucnost elektromobilů ve světě. [3]

Palivové články

Palivový článek je galvanický článek, který vyrábí elektřinu z energie uvolňované při chemické reakci. K tomu slouží palivo (na anodové straně) a oxidant (na katodové straně). Palivo a oxidant za přítomnosti elektrolytu reagují. Nejčastěji se jako palivo využívá vodík a jako oxidant kyslík. Malé palivové články, například do notebooků nebo jiných elektronických přenosných zařízení, využívají jako palivo také různé alkoholy. [4]

V současné době existuje kolem 20 různých typů palivových článků v různých stádiích rozpracovanosti. Existují komerčně využitelné palivové články, ale i takové, jejichž možnosti se teprve zkoumají. Elektromobily jezdící na palivové články však dosud nejsou příliš běžné.

Dobíjecí stanice

Dobíjecí stanice jsou pro elektrická auta tím, čím jsou čerpací stanice pro klasická auta na benzin nebo naftu. Slouží k dobíjení baterií především elektromobilů, ale také plug-in hybridů (toto vozidlo funguje část jízdy jako elektromobil, čili bez spalovacího motoru). Děje se to velmi jednoduše zapojením konektoru do zásuvky. Problémů, které v této souvislosti bylo a je třeba řešit, je hned několik.



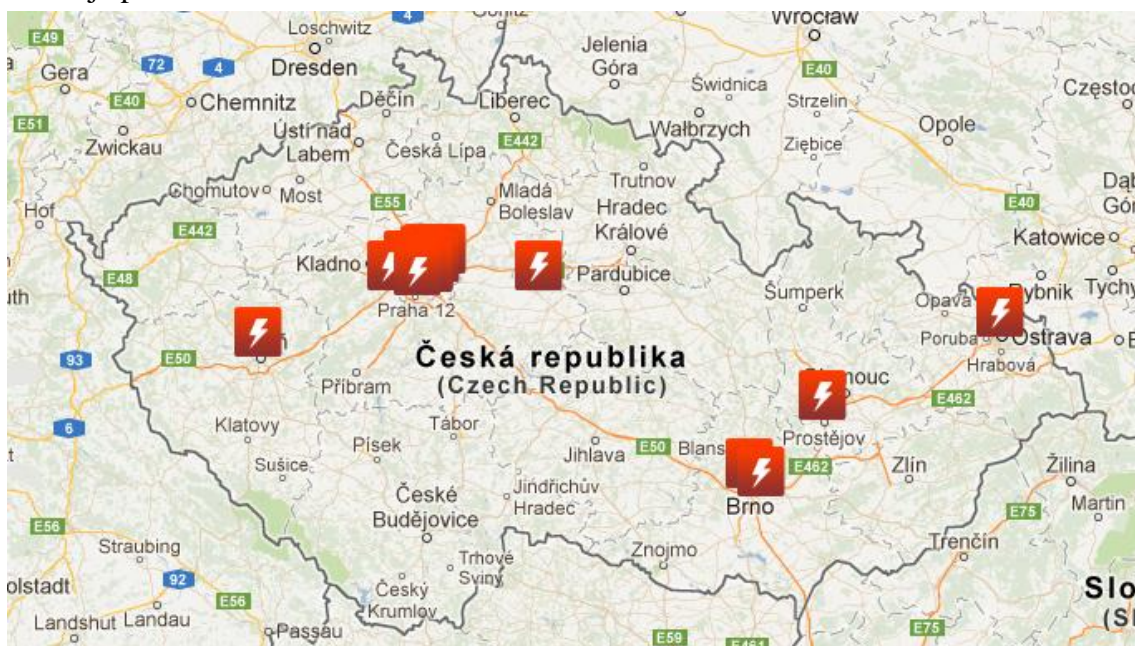
Obr. 2.1 – Ukázka dobíjení elektromobilu Smart fortwo ED [5]

Předně je nutná standardizace jak dobíjecích konektorů, tak zásuvek a to tak, aby kdokoli s elektrickým autem mohl zaparkovat u jakékoliv dobíjecí stanice a z té si auto nabít. Dále je třeba zajistit, aby dobíjecí stanice a stojany poskytovaly komfortní, bezpečnou a jednoduchou obsluhu se stejně jednoduchou možností placení za odebranou energii. Nakonec je samozřejmě nutné, aby dobíjecí stanice přenesly energii co nejrychleji. Proto se pracuje na tzv. rychlodobíjecích stanicích, které dokážou nabít baterie až na 80 % kapacity během například 10 - 30 minut. Dobíjecí stanice i rychlonabíječky jsou klíčovou součástí dobíjecí infrastruktury, která je zase základem pro rozvoj elektromobility ve městech a následně i celých státech. [6]

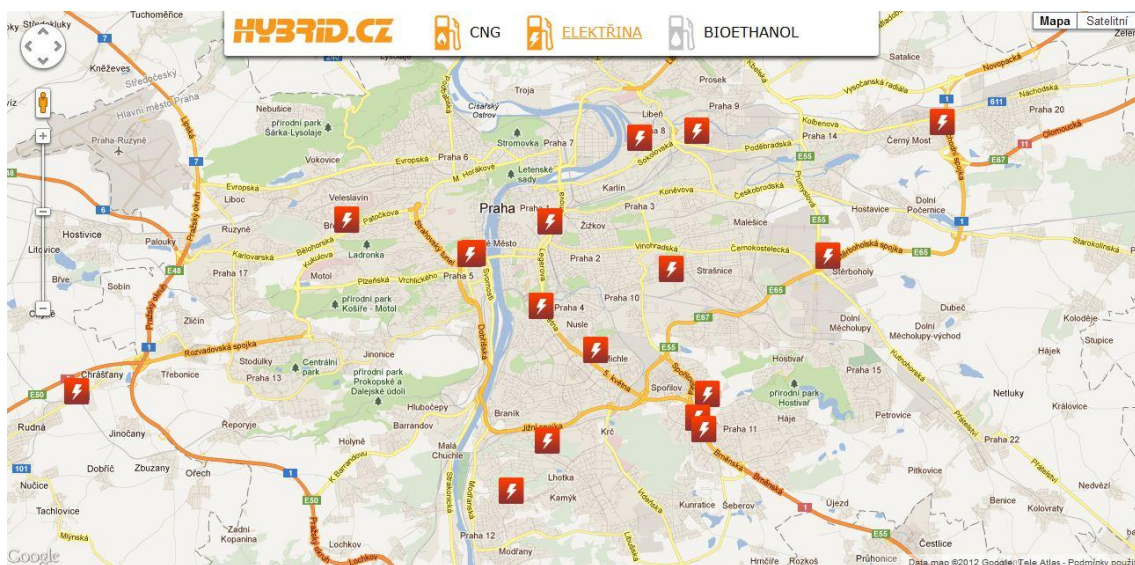
Problematika dobíjení elektrických aut je pro další rozvoj elektromobility stěžejní. V současné době se dojezd běžně prodávaných elektromobilů jako je Nissan Leaf nebo Peugeot iOn pohybuje v řádu desítek kilometrů. Maximální udávaný dojezd bývá kolem 120 - 150 km. Proto je nejprve nutná kvalitní síť dobíjecích stanic. V české republice je těchto stanic zatím velký nedostatek, do budoucna se snad tento trend zlepší. Především velké energetické společnosti (PRE, ČEZ, E-ON) mají zájem na rozvoji elektromobility jako takové, už kvůli tomu, že jde o odběr elektrické energie, což je pro ně potencionálně nový trh, tudíž i zisk. Do konce roku 2013 pak například ČEZ slibuje, že vybuduje 200 těchto veřejných dobíjecích stanic. [6]

V současnosti je nejjednodušší otevřít webový prohlížeč a podívat se, kde vlastně tyto dobíjecí místa najdeme. Jsou k dispozici dvě dostatečně kvalitní místa, kde hledat. Prvním je Google.com [7], který obsahuje mapu, kde mimo veřejných stanic najdete

i možnost dobít si auta v rodinném domku. Druhým zdrojem informací, kde už ale naleznete pouze veřejné dobíjecí stanice, je portál Hybrid.cz [8], který tyto mapy doplňuje ještě o další hůře dostupná paliva, jako je CNG a bioethanol. Nejvíce těchto stanic je pak v hlavním městě Praze.



Obr. 2.2 – Mapa dobíjecích stanic v ČR [8]



Obr. 2.3 – Mapa dobíjecích stanic v Praze [8]

Rekuperace

Rekuperace je proces přeměny kinetické energie dopravního prostředku zpět na využitelnou elektrickou energii při brzdění. energii lze ukládat do akumulátorů (v dnešní době nejčastěji LiFePO₄), případně rovnou vracet do napájecí soustavy. Dlouhou dobu se již rekuperace využívá u kolejových vozidel - vlaky, tramvaje, metro. V posledních letech se přidaly elektromobily, případně hybridní auta. [9]

Hlavním přínosem rekuperace je snížení energetických ztrát a projevuje se především v prostředí, kde je nutné často brzdít a opět se rozjíždět, např. ve městě.

Hybridní pohon

Pohon na čistě bateriová elektrická vozidla není v současné době ideálním řešením. Jelikož tyto elektromobily disponují menším jízdním dojezdem, jejich efektivnost závisí na instalované kapacitě akumulátorů, proto se jeví jako vhodné řešení hybridní pohon. Jedná se o pohon vozidla s více než jedním poháněcím zdrojem, tedy spalovacím motorem a elektromotorem. Vozidla pak musí být vybavena příslušnými zásobníky energie: akumulátory a nádrží na palivo. Zavedením hybridního pohonu lze dosáhnout delšího dojezdu, snížení spotřeby, škodlivých emisí a také hluku. [10]

V současné době existují tři typy hybridních vozů. FULL HYBRID automobil má jako hlavní pohonnou jednotku spalovací motor a jako vedlejší elektromotor. Je schopen provozu pouze na baterie (i když ne příliš dlouho), které jsou dobity při jízdě z motoru nebo při brždění pomocí rekuperace elektrické energie. Druhým typem je MILD HYBRID, což je totéž co full hybrid, ale není schopen jízdy pouze na elektřinu z baterií. Elektromotor plní funkce pouze jako pomocný agregát. Posledním typem je tzv. PLUG-IN HYBRID. Jedná se o vozidlo, jehož baterie lze dobít ze zásuvky. Velký rozmach čeká také na hybridy, které budou mít jako hlavní pohonnou jednotku elektromotor a spalovací motor bude sloužit pouze za účelem vyrábění elektrického proudu. Tuto poslední možnost už dnes využívají hybridní auta, jako Opel Ampera nebo Chevrolet Volt. [11]



Obr. 2.4 – Opel Ampera [12]

Bioethanol

Bioethanol (nebo také bioetanol, etanol, ethanol) je v současné době stále oblíbenějším typem paliva. Bioethanol se vyrábí z biomasy, nejčastěji z rostlin nebo zbytků obsahujících větší množství škrobu a sacharidů. Velmi často je to například kukuřice, obilí nebo brambory, dále také cukrová třtina a řepa. Bioethanol lze pak přímo používat ve spalovacích motorech jako ostatní pohonné hmoty. V praxi se však čistý ethanol nepoužívá, častěji se přimíchává v menším množství do konvenčního paliva. Snižují se pomocí něj emise CO_2 a také oktanové číslo. [13]

3 TEPELNÉ ZTRÁTY

V elektromobilu se nachází tři hlavní elektrické součásti, které se zahřívají a z kterých je případně možné využít ztrátové teplo. Jedná se o elektromotor, kde je ztrátové teplo zajímavé v závislosti na účinnosti elektromotoru. Další faktor, který můžeme brát v potaz, je využitelný průměrný výkon, jaký vozidlo potřebuje v závislosti na aktuální rychlosti vozu. Tepelné ztráty pak také může produkovat frekvenční měnič, který mění stejnosměrný proud na proud střídavý, při zachování konstantního napětí 330 V. Poslední součástí, kde je možné hledat ztrátové teplo, jsou baterie. O tom, jaké ztrátové teplo bude možné z baterie využít, pak rozhoduje použitý typ baterií. V současnosti jsou baterie na čím dál lepší technické úrovni a jejich kapacita i účinnost se stále zvyšuje. Baterie však není důležité pouze chladit, jako spíše udržovat na určité provozní teplotě. V zimním období to tedy znamená topit tak, aby baterka dodávala optimální energii potřebnou pro jízdu.

3.1 Chlazení elektromotoru

V průběhu jízdy se elektromotor zahřívá, potřebuje tedy účinné chlazení. Chlazení zajišťuje odvod tepla vznikajícího ohmickými ztrátami ve vinutí, ztrátami v magnetickém obvodu vířivými proudy a mechanickými ztrátami v ložiscích. Chlazení může být provedeno jako přirozené, nucené s vlastním ventilátorem, nucené cizím ventilátorem, kapalinové nebo plynové. Překročením provozní teploty izolace totiž dochází k překotnému stárnutí – degradaci izolací. Vlivem vysoké teploty je životnost izolace zkrácena na zlomek předpokládané životnosti. U strojů s permanentními magnety pak hrozí odmagnetování při překročení Curieho teploty. Elektromotor je tedy nezbytně nutné chladit. [14, 15]

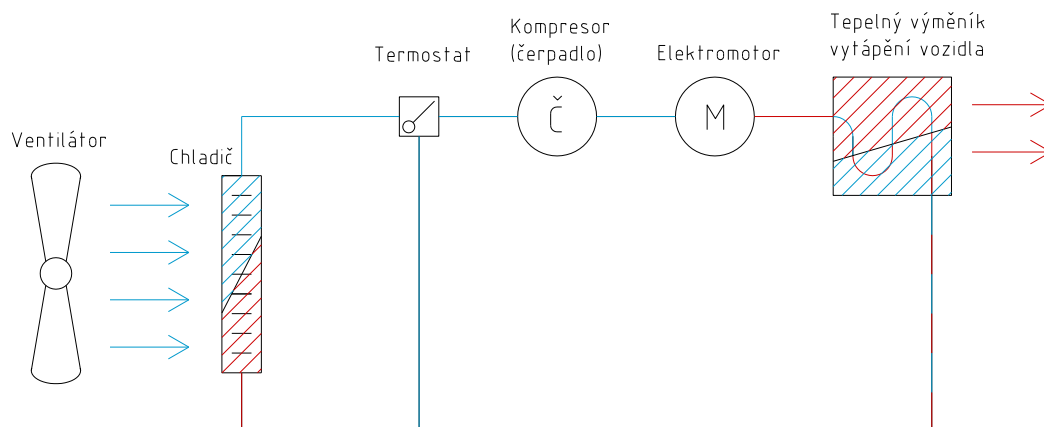
Existují dvě možnosti chlazení elektromotoru: chlazení kapalinové a chlazení vzduchem. Pro další využití tohoto odpadního tepla v autě budeme uvažovat kapalinové chlazení, které je typické pro auta s konvenčním pohonem. Oproti vzduchovému chlazení se dá lépe regulovat a díky velké tepelné setrvačnosti chladicího média nedochází k většímu kolísání provozní teploty. Hlavní důvod pro volbu kapalinového chlazení je omezení hlučnosti, kterou vodní chlazení prakticky eliminuje, a také rozměry, které jsou oproti vzduchovému chlazení podstatně menší. [16]

Kapalinové chlazení

Existují dvě konstrukční řešení kapalinového chlazení. První řešení spočívá v tom, že chladicí médium proudí kanálkem tvaru šroubovice, který obepíná plášť statoru. Druhá varianta je taková, že chlazení má podobu vodního pláště okolo statoru stroje. Z tepelně zatížených míst se pak přejímá teplo, které je odváděno do chladiče. V zimním období, které nás zajímá nejvíce, putuje chladicí médium nejprve do tepelného výměníku, kde je teplo možno odvést pro případné vytápění interiéru. V létě toto teplo putuje přímo do chladiče, kde je kapalině odebráno a přejímáno proudícím vzduchem. Ochlazená kapalina se pak vrací zpět do elektromotoru. Celý systém je uzavřen a správně utěsněn. [17]

Jako náplň chladicího systému se používá nemrznoucí směs ředěná destilovanou vodou na příslušný bod tuhnutí, tedy glykolová kapalina. Používá se celoročně, protože obsahuje přísady působící v soustavě antikorozně a zamezuje tvorbě usazenin z minerálních látek. [18]

Chlazení s nuceným oběhem je neúčinnějším druhem chlazení a v současnosti také nejpoužívanější. Je konstrukčně složitější než chlazení vzduchové, protože má větší počet součástí a tím i vyšší nároky na údržbu a opravy, díky čemuž klade i větší nároky po finanční stránce. Výše zmíněná eliminace hlukových emisí a menší rozměry však tyto nevýhody předčí.



Obr. 3.1 – Schéma chlazení elektromotoru

Teoretický výpočet

Na počátku musíme zavést určité vstupní předpoklady, které využijeme pro další výpočet. Zavedeme tedy zjednodušující předpoklad, že dokážeme asi 50 - 70 % ztrátového výkonu přeměnit a využít jako ztrátové teplo. Část tohoto ztrátového tepla je teplo, které nevzniká přímo v elektromotoru, ale v dalších mechanických částech, jako jsou například ložiska. Důležitým faktorem také je, že ne všechnu ztrátovou energii jsme schopni správně transformovat a využít.

Pro základní posouzení celé situace, nám dostupná literatura neumožňuje zjistit využitelnost ztrátového výkonu přesněji, a proto uvažujeme zlatou střední cestu a tuto hodnotu zvolíme na 60 %. Po zavedení těchto zjednodušujících předpokladů je pak možné použít vztahy, které udávají využitelnost ztrát motoru a následně velikost tepelných ztrát (s vědomím vstupní chyby): [14, 15]

$$P_Z = P \cdot (1 - \vartheta) \quad [\text{kW}]$$

$$P_{odp} = 0,60 \cdot P_Z \quad [\text{kW}]$$

Kde: P ... průměrný výkon elektromotoru

P_{odp} ... tepelné ztráty

P_Z ... ztrátový výkon

ϑ ... účinnost elektromotoru

Abychom byli schopni zhodnotit, zda je toto ztrátové teplo dostatečně velké pro další vytápění a verifikovat tak zda je tento způsob vytápění efektivní, provedeme výpočet na konkrétních typech elektromobilů, které už v současnosti jezdí po českých silnicích (ke 2. březnu 2012): [19]

Mitsubishi iMiEV (Peugeot iOn, Citroën C-Zero)

V Česku jezdí dva takovéto elektromobily a na jeho základě vznikly dva další vozy Peugeot iOn a Citroën C-Zero. Jedná se v podstatě o „převlečený“ Mitsubishi iMiEV, který již zhruba tři roky spolehlivě funguje v Japonsku. Jde o elektromobil s pohonem předních kol a čtyřmístným interiérem. V Česku jezdí 18 vozů značky Peugeot iOn a 13 vozů značky Citroën C-Zero. [19]

V tomto voze je použit elektrický třífázový synchronní motor s permanentním neodýmovým magnetem 330 V AC. Účinnost motoru je 91 % a maximální výkon motoru tohoto vozidla je 49 kW. Elektromotory jsou běžně dimenzované na maximální výkon, při jízdě však stačí pouze určitá část tohoto výkonu. Pro elektromobil totiž není potřeba mít velký elektromotor, protože se může krátkodobě přetížít. Musíme tedy zavést další vstupní předpoklad a to takový, že maximální výkon elektromobil využije jen z části. Předpokládejme tedy, že naše elektro auto bude jezdit ve městském provozu, kde hojně využije rekuperaci. Náš řidič bude spíše preferovat ekonomickou jízdu. Bude tedy využívat zhruba 1/5 maximálního výkonu. Průměrný výkon bude v takovém případě odpovídat přibližně 10 kW. Po dosazení do vzorce pro ztrátový výkon dostáváme: [20, 21, 22]

$$P_Z = P \cdot (1 - \vartheta) = 10 \cdot (1 - 0,91) = 0,9 \text{ kW}$$

Využitelné tepelné ztráty jsou pak rovny:

$$P_{odp} = 0,6 \cdot P_Z = 0,6 \cdot 0,9 = 0,54 \text{ kW}$$

Tuto hodnotu je potřeba porovnat s teplem, které reálně pro vytápění potřebujeme a které je schopen dodat sám topný systém. Důležitou roli zde hraje také teplota, která dosahuje hodnot pouze okolo 30 - 40 °C. Jedna z možností jak toto teplo využít je případné dohřívání tohoto ztrátového tepla, kde teoreticky ušetříme určitý podíl energie tím, že už nějakou tepelnou kapacitu máme k dispozici.



Obr. 3.2 – Mitsubishi iMiEV [23]

Daimler Smart fortwo ED

V České republice je tento elektromobil zatím nejrozšířenější s počtem 23 vozidel. Předcházející modely vycházejí ze stejné platformy, a proto je tento vůz jediným dalším elektromobilem odlišné koncepce, která po našich silnicích v současné době jezdí. Aktuálně míří na trh už třetí generace těchto vozů. Druhá generace disponuje maximálním výkonem motoru 40 hp (koní), což představuje v přepočtu přibližně 30 kW výkonu. Modernizovaná třetí generace pak zvyšuje výkon o 33 hp na nových 73 hp a to v přepočtu znamená výkon necelých 54 kW. To má hlavní dopad na zvýšení maximální rychlosti, což umožňuje tomuto relativně malému autu vyjet i mimo centrum města, na které je navrženo. [19, 24]

Účinnost elektromotoru u Smartu ED je o 4 procentní body vyšší než u předcházející řady elektromobilů Mitsubishi, tedy 95 %. Znovu je ale potřeba zavést vstupní předpoklady pro další výpočet. Tentokrát pošleme vozidlo částečně i mimo město, což má za následek, že poklesne účinnost a současně vzroste průměrný využitý výkon na přibližně 15 kW. Je to dáno absencí převodové skříně. Jízda je o něco rychlejší a rekuperace se využívá o něco méně v závislosti na daném terénu. Účinnost motoru se razantně nezmění a klesne pouze na 93 %. Je to dáno hlavně absencí převodovky. Průměrná rychlost vozu se tedy pohybuje kolem 70 km/h. [25, 26]

Po dosazení do vzorce s tím, že průměrný využitý výkon je 15 kW, pak pro ztrátový výkon dostáváme:

$$P_z = P \cdot (1 - \eta) = 15 \cdot (1 - 0,93) = 1,05 \text{ kW}$$

Využitelné tepelné ztráty jsou poté rovny:

$$P_{odp} = 0,6 \cdot P_z = 0,6 \cdot 1,05 = 0,63 \text{ kW}$$

Tepelné ztráty, které bychom byli schopni reálně využít, opět nejsou příliš velké. Znovu bude potřeba uvažovat o řešení jak z tohoto relativně nízko-potencionálního zdroje vytvořit plnohodnotný zdroj vytápění. Současně je důležité zamyslet se, zdali je tato cesta vůbec technologicky možná a pokud ano, tak zdali je toto řešení ekonomicky výhodné.



Obr. 3.3 – Smart fortwo ED [27]

Elektromobil VUT Super EL II

Tento elektromobil není komerčním dílem žádné regulérní automobilky a jeho vývoj a přestavba trvala zhruba dva roky. Elektromobil byl v červnu loňského roku homologován, schválen do provozu na pozemních komunikacích, prošel STK a byl mu přidělen technický průkaz a státní poznávací značku. Jedná se o jediné osobní auto, které má v technickém průkazu jako tovární značku uvedeno "VUT". [28]

Elektromobil využívá elektrický střídavý asynchronní motor s kotvou nakrátko od výrobce Siemens. Motor poskytuje trvalý výkon 35 kW při 3500 tis. otáček. Díky kvalitnímu chlazení je schopen výkonu 70 až 100 kW po dobu akcelerace vozidla z 0 na 160 km/h. Asynchronní motor je chlazen vodou z původního chladiče spalovacího motoru a přes laserově vyřezanou přírubu je napojen na spojku a manuální šestistupňovou převodovku. [29]

Asynchronní motor je řízen speciálně vyvinutým frekvenčním měničem s napájecím napětím 350 V z akumulátoru. Frekvenční měnič je vybaven vektorovým řízením a plynulou rekuperací, která je ovládána akceleračním a brzdovým pedálem. Rekuperace je automaticky deaktivována při sešlápnutí spojky a aktivaci systému ABS.

Elektromobil je vybaven elektrickým topením a připravuje se také možnost elektrické klimatizace – tepelného čerpadla. Součástí elektromobilu je také navigace s vyznačenými 161 nabíjecími místy na mapě České Republiky. [28]



Obr. 3.4 – Elektromobil VUT Super EL II [30]

Účinnost elektromotoru v tomto případě dosahuje až k 97 %. Opět je ale potřeba zavést vstupní předpoklady pro další výpočet. Tentokrát pošleme vozidlo částečně i na dálnici, současně však využijeme převodovku, která ve voze zůstala po přestavbě. Jízda na dálnici způsobí, že poklesne účinnost a současně vzroste průměrný využitý výkon na přibližně 25 kW. Účinnost motoru se díky převodovce skoro nezmění a klesne pouze na 96 %. Předpokládáme průměrnou rychlost 110 km/h.

Po dosazení do vzorce s tím, že průměrný využitý výkon je 25 kW, pak pro ztrátový výkon dostáváme:

$$P_Z = P \cdot (1 - \vartheta) = 25 \cdot (1 - 0,96) = 1,12 \text{ kW}$$

Využitelné tepelné ztráty jsou pak rovny:

$$P_{odp} = 0,6 \cdot P_Z = 0,6 \cdot 1,12 \cong 0,67 \text{ kW}$$

Teoretické hodnoty tepelných ztrát jsou zase nepatrně větší, skutečné hodnoty však mohou být částečně odlišné, díky vstupním chybám, kterých jsme si vědomi. Z dostupné literatury se můžeme spíše domnívat, že tato teoretická hodnota zřejmě nebude příliš překročena. Mnohem pravděpodobněji lze očekávat, že skutečné hodnoty budou nižší než teoreticky vypočtené. [29]

3.2 Chlazení frekvenčního měniče

V elektromobilu můžeme nalézt další součást, která se v provozu zahřívá a tou je frekvenční měnič DC/AC. Měnič je elektrotechnické zařízení sloužící ke změně parametrů elektrické energie. V elektromobilu má měnič za úkol změnu stejnosměrného proudu, kterou odebíráme z baterie na proud střídavý, ten potřebuje asynchronní motor s kotvou na krátko, případně také synchronní motor či jiný použitý typ. [31]

Z fyzikální podstaty vyplývá, že účinnost přeměny elektrické energie je vždy menší než 100%, každý měnič má tedy ztráty. Frekvenční měniče většinou pracují s velmi dobrou účinností, ztráty v okolí pracovního bodu jsou typicky kolem 5 %. [32]

Při výpočtu ztrátového tepla je nutné uvažovat, že nedokážeme odvést všechno teplo z měniče efektivně. V předchozí podkapitole byly uvedeny 3 různé typy vozů. Budeme uvažovat, že jednotlivé typy používají odlišný frekvenční měnič, avšak pro lepší porovnání tepelných ztrát v závislosti na zvoleném způsobu jízdy a užitém elektromotoru budeme uvažovat, že všechny mají stejnou účinnost a to 97 %.

Nejprve bude nutné vypočítat, jaký výkon musíme na frekvenční měnič přivést a to dle vztahu:

$$P_0 = \frac{P}{\vartheta} \text{ [kW]}$$

Kde: P ... průměrný výkon elektromotoru

P_0 ... příkon frekvenčního měniče

ϑ ... účinnost frekvenčního měniče

Poté co jsme zjistili příkon frekvenčního měniče a známe i výstupní stav, jinak řečeno průměrný výkon elektromotoru, zjistíme rozdíl těchto dvou veličin. Znovu zavedeme předpoklad, že jsme schopni využít asi 60 % tohoto ztrátového tepla, stejně jako tomu bylo u elektromotoru. Při zavedení těchto předpokladů a vědomí určité vstupní chyby můžeme psát vztah pro využitelné tepelné ztráty:

$$P_{odp} = 0,6 \cdot (P_0 - P) \text{ [kW]}$$

Kde: P ... průměrný výkon elektromotoru

P_0 ... příkon frekvenčního měniče

P_{odp} ... tepelné ztráty

Pro jednotlivé vozy pak můžeme spočítat:

Mitsubishi iMiEV:

Příkon frekvenčního měniče:

$$P_0 = \frac{P}{\eta} = \frac{10}{0,97} \cong 10,31 \text{ kW}$$

Využitelné tepelné ztráty:

$$P_{odp} = 0,6 \cdot (P_0 - P) = 0,6 \cdot (10,31 - 10) \cong 0,19 \text{ kW}$$

Daimler Smart fortwo ED:

Příkon frekvenčního měniče:

$$P_0 = \frac{P}{\eta} = \frac{15}{0,97} \cong 15,46 \text{ kW}$$

Využitelné tepelné ztráty:

$$P_{odp} = 0,6 \cdot (P_0 - P) = 0,6 \cdot (15,46 - 15) \cong 0,28 \text{ kW}$$

Elektromobil VUT Super EL II:

Příkon frekvenčního měniče:

$$P_0 = \frac{P}{\eta} = \frac{25}{0,97} \cong 25,77 \text{ kW}$$

Využitelné tepelné ztráty:

$$P_{odp} = 0,6 \cdot (P_0 - P) = 0,6 \cdot (25,77 - 25) \cong 0,46 \text{ kW}$$

Z těchto výpočtů je patrné, že se hodnoty daleko více odlišují v závislosti na zvoleném způsobu jízdy, jinak řečeno potřebném výkonu elektromotoru. Tyto tepelné ztráty také nejsou příliš velké, ale v součtu s teplem, které dokážeme získat z elektromotoru, už tato hodnota zanedbatelná zcela není.

3.3 Chlazení baterií

Poslední komponentou v elektromobilu, kde můžeme potencionálně hledat ztrátové teplo, jsou baterie. Svojí cenou a parametry jsou jedinou limitující součástí elektromobilů, bránící jejich masovému nasazení na našich silnicích. Kromě kapacity akumulátorů se sledují také další parametry jako je hmotnost, cena, rozměry, rychlost dobíjení, paměťový efekt, počet možných hloubkových dobíjecích cyklů, samovybití a mnohé další. K postupnému vývoji přispívá také fakt, že se baterie dnes využívají ve velké míře i ve výpočetní technice (notebooky, mobily) z čehož můžou baterie pro elektromobily částečně těžit. [33]

Měrná kapacita (množství energie na kilogram) celkem jasně ukazuje, proč je tak těžké konkurovat benzínu. Benzín obsahuje 11 kWh/kg, pro srovnání: olověný akumulátor obsahuje pouze cca 40 Wh/kg, NiMH už obsahuje až 80 Wh/kg, Li-ion 100 - 160 (250) Wh/kg. Litř benzínu obsahuje tedy 275 krát více energie oproti olověnému akumulátoru. [34]

U elektromobilů budeme hovořit o tzv. trakčních bateriích. Oproti klasickým startovacím bateriím jsou trakční baterie navrženy pro hluboké vybití a mnohem méně podléhají opotřebení elektrod při vybití a nabíjení. [34]

Baterie prošly určitým historickým vývojem. S postupným zdokonalováním přicházejí nové typy baterií. Vývojem prošla hlavně účinnost nabíjení (resp. vybíjení), zvýšená měrná kapacita a snížení dopadů na životní prostředí (toxikčnost). Z hlediska chlazení a ztrátového tepla nás zajímá zejména účinnost, ta se ale u jednotlivých typů výrazně liší. Provedeme tedy stručný rozbor jednotlivých typů:

Olověné baterie

Olověné akumulátory jsou se svojí schopností poskytnout velký proud v kombinaci s nízkou cenou určeny jako ideální varianta pro klasické automobily. Z ekologického pohledu jsou olověné akumulátory nejhorší variantou spolu s NiCd akumulátory, jelikož jsou velmi toxické. Je tedy nutná ekologická likvidace (proces je dnes už velmi dobře technologicky zvládnutý). [33, 35]

Omezení olověného akumulátoru spočívá v tom, že když je vybit (i částečně) a delší dobu v tomto stavu setrvává, tak na jeho elektrodách dochází k prakticky nevratným změnám tzv. sulfataci. Ta výrazně snižuje jeho kapacitu. Je tedy nutné stále udržovat akumulátor v dobítem stavu.

Výhody olověných akumulátorů [35]

- + Cena (cena olova je asi desetinová v porovnání např. s niklem)
- + Akumulátor je schopen poskytnout velké proudy

Nevýhody olověných akumulátorů [35]

- Malá hustota energie na kilogram (30 - 40 Wh/kg)
- Relativně nízká účinnost dobíjení (70 - 92 %)
- Malý počet dobíjecích cyklů (500 - 800)

NiCd akumulátor

Nikl-kadmiový akumulátor je druh galvanického článku. Výhodou těchto článků je, že jim nevádí skladování ve vybitém stavu a s tím související odolnost vůči hlubokému vybití. Svými vlastnostmi se jinak podobá novějšímu NiMH akumulátoru. S relativně nízkým vnitřním odporem můžou NiCd baterie dodávat vysoké proudy přepětí. [33, 36]

NiCd akumulátory (spolu s NiMH) mají oproti jiným bateriím ještě jeden neduh a tím je paměťový efekt. Označuje se jím stav, kdy baterie postupně ztrácí svoji maximální kapacitu, jsou-li opakovaně dobíjeny jen po částečném vybití.

Výhody NiCd akumulátorů [36]

- + Nevadí mu úplné a dlouhodobé vybití, dokonce jsou skladovány zcela vybité
- + Vysoký počet dobíjecích cyklů – přibližně 2000

Nevýhody NiCd akumulátorů [36]

- Malá hustota energie na kilogram (40 – 60 Wh/kg)
- Nízká účinnost dobíjení (66 – 90 %)
- Dražší výroba a tedy i vyšší cena zejména oproti olověným bateriím
- U NiCd baterií se projevuje paměťový efekt
- Rychlé samovybíjení (až 20 % za měsíc)
- Nutná ekologická likvidace – baterie jsou velmi toxické

NiMH akumulátory

Nikl-metal hydridový akumulátor je druh galvanického článku a dnes je jedním z nejčastěji používaných druhů akumulátorů. Ve srovnání s podobným nikl-kadmiovým akumulátorem má přibližně dvojnásobnou kapacitu. Hlavními důvody jeho velkého rozšíření je jeho relativně velká kapacita a schopnost dodávat poměrně velký proud spolu s přijatelnou cenou. Další výhodou je udržení garantovaného napětí téměř až do úplného vybití baterie. [33, 37]

Výhody NiMH akumulátorů [37]

- + Cena, NiMH baterie jsou relativně levné
- + Rozumně ekologické
- + Udržení napětí až do úplného vybití

Nevýhody NiMH akumulátorů [37]

- Relativně nízká hustota energie na kilogram (30 – 80 Wh/kg)
- Nízká účinnost dobíjení (66 – 90 %)
- U některých typů rychlé samovybití (až 20% za měsíc)
- Oproti NiCd akumulátorům menší počet dobíjecích cyklů (cca 1000+)
- I u NiMH baterií se projevuje paměťový efekt

Li-ion baterie

Lithium-ion baterie (zkráceně Li-ion baterie) je typ nabíjecí baterie, ve kterém se lithium-ionty pohybují mezi anodou a katodou. Vysoká hustota energie vzhledem k objemu se výborně hodí pro přenosná zařízení.

Li-ion baterie se běžně používají ve spotřební elektronice. V dnešní době se jedná o jeden z nejoblíbenějších typů baterií pro přenosné elektrické přístroje. Má vynikající poměr energie/hmotnost, žádný paměťový efekt a pomalé samovybití. [38]

Li-ion baterie mají však velké množství vlastností, které jejich požití (např. v elektromobilech) silně omezují. Hlavní stinnou stránkou těchto baterií je jejich stárnutí, což je výrazné snižování kapacity nezávisle na používání. Při skladování baterie při teplotě 20 °C, se bude kapacita baterií snižovat o 20% za rok. Pokud by byla baterie skladována při teplotě 4 °C, snižovala by se za rok kapacita jen o 4%. Naproti tomu při teplotě 40 °C by byla trvalá roční ztráta kapacity baterie dokonce 35 - 40 %! [33]

Oproti NiCd a NiMH akumulátorům mají Li-ion baterie vyšší vnitřní odpor, proto není možné z nich získat tak vysoký proud. V případě přehřátí nebo připojení vyššího napětí může baterie explodovat.

Výhody Li-ion akumulátorů [39]

- + Málo toxické
- + Velmi vysoká hustota energie! (100 – 160 Wh/kg)
- + Možnost tvarovat baterii dle svých požadavků
- + Nemá paměťový efekt
- + Nízké samovybití
- + Vysoké nominální napětí
- + Dobrá dobíjecí účinnost (80 – 90 %)

Nevýhody Li-ion akumulátorů [39]

- Velmi rychlé stárnutí baterie (životnost 2 - 3 roky, snížení kapacity o 20 % za rok při 20 °C)
- Při špatném zacházení explozivní
- Při úplném vybití je téměř vždy zničená

LiFePO4 akumulátory

Další verzí lithium-iontových nabíjecích baterií jsou i akumulátory postavené na lithium železo fosfátu (LiFePO₄). Toto označení získaly díky katodě vyrobené z tohoto materiálu. Anoda je jako u ostatních Li-ion baterií vyrobena z uhlíku. Mezi jejich hlavní přednosti oproti klasickým lithium-iontovým akumulátorům patří především schopnost dodat vyšší proud a to, že při extrémních podmínkách nejsou explozivní. [33, 40]



Obr. 3.5 – Akumulátory LiFePO₄ v elektromobilu VUT Super EL II [30]

Na druhou stranu mají o něco nižší napětí a také nižší hustotu energie. LiFePO₄ technologie vznikla v roce 1997 a zaujala hlavně díky svým výhodám jako například: zcela netoxická (na rozdíl od klasických Li-ion), má dobrou teplotní stabilitu, velmi dobrý elektrochemický výkon a vysokou kapacitu.

Výhody Li-ion fosfátových akumulátorů [41]

- + Vysoký počet dobíjecích cyklů (2000 - 3000)
- + Netoxická
- + Nemá paměťový efekt
- + Bezpečné oproti jiným typům lithiových baterií
- + Vysoká životnost (3 - 10 let)
- + Vynikající dobíjecí účinnost (dnes takřka 99 %)

- + Levné oproti jiným lithiovým bateriím
- + Vyšší hustotu energie (80 - 120 Wh/kg), dnes se již dají běžně koupit baterie s hustotou 170 Wh/kg a více

Nevýhody Li-ion fosfátových akumulátorů [41]

- Rychlé dobíjení může snížit životnost (platí při nabíjení malého počtu článků)
- Možnost předčasného selhání při větším množství hlubokých cyklů (vybití pod 33%)

Ztrátové teplo jsme z baterií schopni využít ve dvou případech. Prvním je nabíjení elektromobilu, kdy v interiéru vozu většinou člověk vůbec není, tudíž vytápění až tolik nepotřebuje (spíše ve speciálních případech jako předvytopení interiéru před jízdou). A druhým případem je vybíjení, které využíváme při samotné jízdě.

Nejvýhodnější a v současných elektromobilech nejčastěji používaný je poslední typ akumulátorů a to LiFePO₄ (pro srovnání viz tab. 1). Díky vysoké účinnosti (99 %) tento typ neposkytuje prakticky téměř žádné tepelné ztráty, které jsme schopni pro vytápění využít. Naopak v zimních měsících, kdy teplota klesá výrazně pod bod mrazu, je nutné baterie udržovat na určité provozní teplotě a tedy baterie vytápět na požadovanou provozní úroveň.

Tab. 1 - Srovnání vlastností různých typů akumulátorů

Akumulátor	Měrná kapacita energie (Wh/kg)	Přibližný počet nabíjecích cyklů	Účinnost (%)
Olověný (Pb)	30 – 40	500 – 800	70 – 92
NiCd	40 – 60	až 2 000	66 – 90
NiMH	30 – 80	1 000	66 – 90
Li-ion	100 – 160	1 500	80 – 90
LiFePO₄	100 – 120 (170)	2 000 – 3 000	až 99

V některých automobilech jsou používány starší typy akumulátorů, které ztrátové teplo produkují ve vyšší míře. Mimo LiFePO₄ se hojně v dnešních elektromobilech vyskytují také Li-ion akumulátory. Energie, kterou bychom v rámci ztrátového tepla mohli využít, už v takovém případě zanedbatelná není. V současné době, ale nejsme schopni dle jednoduchých předpokladů posoudit, jak velká tato energie bude. Proto také budeme uvažovat, že ve všech námi zvolených elektromobilech jsou použity akumulátory LiFePO₄.

3.4 Shrnutí problematiky

V elektromobilu jsou tři komponenty, které produkují tepelné ztráty. Jedná se o elektromotor, který má největší podíl na tomto vyprodukovaném teple. Na druhém místě je frekvenční měnič, který tvoří už o něco menší množství ztrátového tepla. Třetí v pořadí jsou pak baterie, které v současnosti tepelné ztráty v podstatě produkují ve velmi omezené míře blíží se nule. Ba naopak v zimním období potřebují, aby bylo určité teplo dodáno.

Tepelné ztráty jsou závislé na několika faktorech. Prvním z nich je účinnost všech elektrických zařízení. Nejpodstatnější vliv účinnosti má každopádně elektromotor, protože od něj se odvíjí spotřeba elektrického proudu, která přímo ovlivňuje ztráty na frekvenčním měniči a potažmo i bateriích. Účinnost elektromotoru se pohybuje od 90 - 97 %, technologie v tomto směru v dnešní době opravdu velmi pokročila. Účinnost elektromotoru však snížíme při vyšší výkonové zátěži, kde charakteristika, která popisuje vliv účinnosti v závislosti na dodaném výkonu, klesá. Dalším významným vlivem je průměrný výkon elektromotoru, který se odvíjí od jízdních vlastností. Zkoumané elektromobily měly různé podmínky, za kterých jsme dosáhli různých hodnot ztrátového tepla. Mitsubishi iMiEV bylo použito ve větší míře v městském provozu, kde průměrný výkon kulminuje přibližně okolo 10 kW výkonu. Smart fortwo ED byl vystaven i mimoměstskému provozu a byl provozován při průměrné rychlosti 70 km/h. Průměrný výkon pro tento typ jízdy 15 kW odpovídá ekonomickému způsobu jízdy, toto vozidlo totiž nemá převodovku, takže při vyšší rychlosti se razantněji snižuje účinnost elektromotoru a tím pádem i tepelné ztráty. Posledním elektrickým vozem je VUT Super EL II, který je oproti předchozímu modelu vybaven převodovkou. Proto si dovolíme i jízdu na dálnici, kde díky převodovce zůstává účinnost elektromotoru stále poměrně vysoká. [42]

Ztráty na frekvenčním měniči, jak už bylo zmíněno výše, jsou v podstatě závislé na odebíraném průměrném výkonu elektromotoru, tvoří ale také určitou nezanedbatelnou část a jejich závislost je opět postavena na účinnosti tohoto zařízení.

Poslední součástí, která produkuje teplo, jsou baterie. Jak u LiFePO_4 , tak i ostatních typů baterií má tedy smysl jejich vyhřívání a případné chlazení. Protože nejsme schopni posoudit energetickou bilanci vytápění a chlazení baterií během jízdy, nebudeme ztrátové teplo vůbec uvažovat. Toto teplo je totiž příliš proměnlivé, nemá stabilní hodnotu. Z akumulátorů tedy nevyužijeme žádné tepelné ztráty.

Srovnáním těchto hodnot zjistíme (viz tab. 2), že ztrátové teplo je opravdu nejvíce závislé na zvoleném typu provozu a na účinnosti jednotlivých zařízení. Baterie mají hodnotu, z důvodu výše popsané proměnlivosti, nulovou.

Tab. 2 - Srovnání využitelnosti ztrátového tepla

Elektromobil	Využitelné ztrátové teplo			
	Z elektromotoru	Z frekvenčního měniče	Z akumulátorů	Celkové
	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
Mitsubishi iMiEV	0,54	0,19	0	0,73
Smart fortwo ED	0,63	0,28	0	0,91
VUT Super EL II	0,67	0,46	0	1,13

Celkové ztrátové teplo tedy není úplně zanedbatelné, ale naráží na jeden podstatný problém a tím je výstupní teplota, která se pohybuje v rozmezí pouze kolem 30 - 40 °C. [43] Jeho další využití je pak teoreticky možné, ale předpokládá pravděpodobně další ohřev, který však vyžaduje další součásti a tím pádem cenu i hmotnost navíc.

Když si uvědomíme, že namísto těchto tepelných ztrát můžeme elektromobil přímo vytápět pomocí elektrické energie, vyjde nám, že tento způsob bude mít pravděpodobně výrazně lepší energetickou a ekonomickou bilanci. Místo váhy a ceny zařízení, které by toto ztrátové teplo upravovalo, můžeme pořídit více baterií a vytápět vozidlo přímo elektricky. Snižování ztrátového tepla a tím pádem zvyšování účinnosti použitých součástí má v takovém případě určitě větší smysl.

4 PŘÍMÉ VYTÁPĚNÍ

Nejjednodušší způsob jak docílit požadované teploty v interiéru vozu je cesta přímého vytápění. Do přímého vytápění řadíme čistě elektrické metody, jako je elektrický odporový ohřev, infratopení, topení pomocí Peltierových článků, ale i tepelné čerpadlo, které využívá pouze část elektrické energie a zbylou energii dodává z okolí.

4.1 Odporové topení

Základem tohoto systému je většinou topná spirála, která ohřívá topné médium, vzduch nebo kapalinu. Topnou spirálou z materiálu o velké rezistivitě prochází proud a na základě tohoto jevu dochází k ohřevu. Topení potřebuje vstup a výstup topného média, které musí být dobře utěsněno. Topné médium je ohříváno prouděním kolem topné spirály. [44]

Konstrukční řešení však nemusí být omezeno pouze na topné spirály, ale k ohřevu mohou sloužit i odporové svíčky. Odporové svíčky neposkytnou příliš velký topný výkon, ale využívají se například při vyhřívání baterií v zimním období. [45]



Obr. 4.1 – Ohřev pomocí odporových svíček pro Ford Focus Electric [45]

Topení vzduchem

Princip tohoto systému je v podstatě jednoduchý, kdy za pomoci odporové topné spirály ohříváme proudící vzduch na potřebnou teplotu.

Výhody

- + Velmi rychlý ohřev interiéru
- + Snadná regulace teploty
- + V zimě nehrozí zamrznutí systému

Nevýhody

- Velká konstrukce (větší rozměry oproti teplovodnímu topení)
- Po delším používání hrozí zápach (díky usazování prachu na topné spirále)
- Hlukové emise
- Vyšší odběr proudu díky ventilátoru na pohánění vzduchu

Kapalinové topení

Princip fungování je stále stejný, pouze topné médium se změnilo a místo vzduchu používáme vodu. Dnešní trend je takový, že většina chladících a topných okruhů je právě vodního nebo lépe řečeno kapalinového rázu. Místo vody se totiž často používají různé nemrznoucí směsi, které odolají i v mrazu. Zvláště u topení je toto velmi důležité, protože bez něj by při prudkých mrazech nebylo vozidlo prakticky pojízdné. [44]

Výhody

- + Snadná regulace teploty
- + Bez zápachu
- + Eliminace hlukových emisí
- + Podstatně menší zařízení (oproti vzduchovému)

Nevýhody

- O něco pomalejší ohřev interiéru díky velké měrné kapacitě vody
- Nepatrně vyšší spotřeba elektrického proudu díky malému kompresoru
- U vodního topení by při příliš nízkých teplotách hrozilo zamrznutí



Obr. 4.2 – Elektrické kapalinové topení MesDea [46]

Předehev vozů v zimním období

Nespornou výhodou elektrického topení je jeho použití v případě, kdy elektromobil stojí v zimě venku. Ve skandinávských zemích, především v Norsku, je už standardem, že na veřejných parkovištích, v blízkosti domů, obchodů a na dalších místech, jsou umístěny nabíjecí stojany, do kterých při příjezdu svůj vůz jednoduše připojíte pomocí elektrického kabelu. Po dobu, kdy se řidič nachází například v obchodě, je vozidlo stále vytápěno, takže při návratu je ve stavu, kdy můžeme pohodlně nastoupit a vyrazit na další cestu. Toto řešení je použitelné i na konvenční spalovací automobily, do kterých je toto elektrické topení namontováno navíc. [47]



Obr. 4.3 – Dobíjení automobilu při stání vozu v mrazu [48]

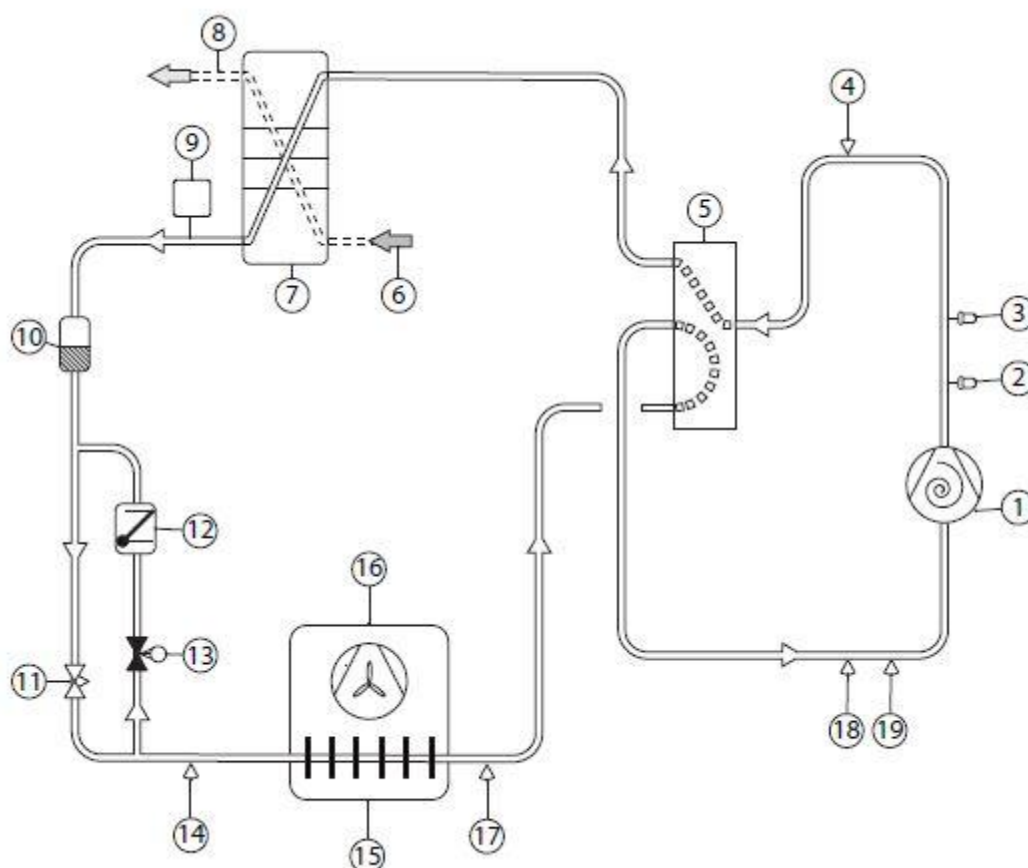
Topení je samozřejmě programovatelné, takže v případě, že vozidlo stojí venku delší dobu, topit začne až těsně před danou jízdou. Je důležité tedy dopředu vědět, kdy plánujeme návrat k elektromobilu a podle toho dobu vytápění nastavit. Vytápění trvá přibližně půl hodiny při teplotách okolo $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, interiér má pak příjemných $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. [47]

4.2 Tepelné čerpadlo

Dalším způsobem, jak můžeme docílit optimální teploty interiéru je použití tepelného čerpadla. Tepelné čerpadlo má oproti odporovému ohřevu tu výhodu, že nespotřebuje tak velké množství elektrické energie. Část energie pro ohřev totiž bereme z venkovního prostředí a využíváme tak nízko-potencionální teplo z okolí. Další výhodou může být stav, kdy dokážeme v zimě využít tepelné čerpadlo pro vytápění a v létě pro chlazení. Toto vyžaduje určitou konstrukční změnu a to zavedení čtyřcestného ventilu, který mění tok proudícího média. Ani velikost celého systému by neměla být nějak problematická, protože tepelné čerpadlo v podobě klimatizace v konvenčních vozech nalezneme celkem běžně. Tento systém je pak oproti klimatizaci rozšířen pouze o čtyřcestný ventil. [49]

Funkce ohřevu (obr. 4.4):

Jakmile dostane kompresor (1) signál pro spuštění, vhnání se pod tlakem chladivo v plynném stavu přes čtyřcestný ventil (5) do deskového tepelného výměníku (7). Horké chladivo odevzdá v deskovém tepelném výměníku (7) teplo do otopné soustavy (8) a přechází do kapalného skupenství. Chladivo pokračuje přes filtr dehydrátoru (10) a přes elektronický expanzní ventil (11) do výměníku vzduchu (15). Ve výměníku vzduchu (15) se chladivo zahřeje teplejším venkovním vzduchem a přejde do plynného stavu. Plyn následně pokračuje přes čtyřcestný ventil (5) zpět do kompresoru (1). [49]

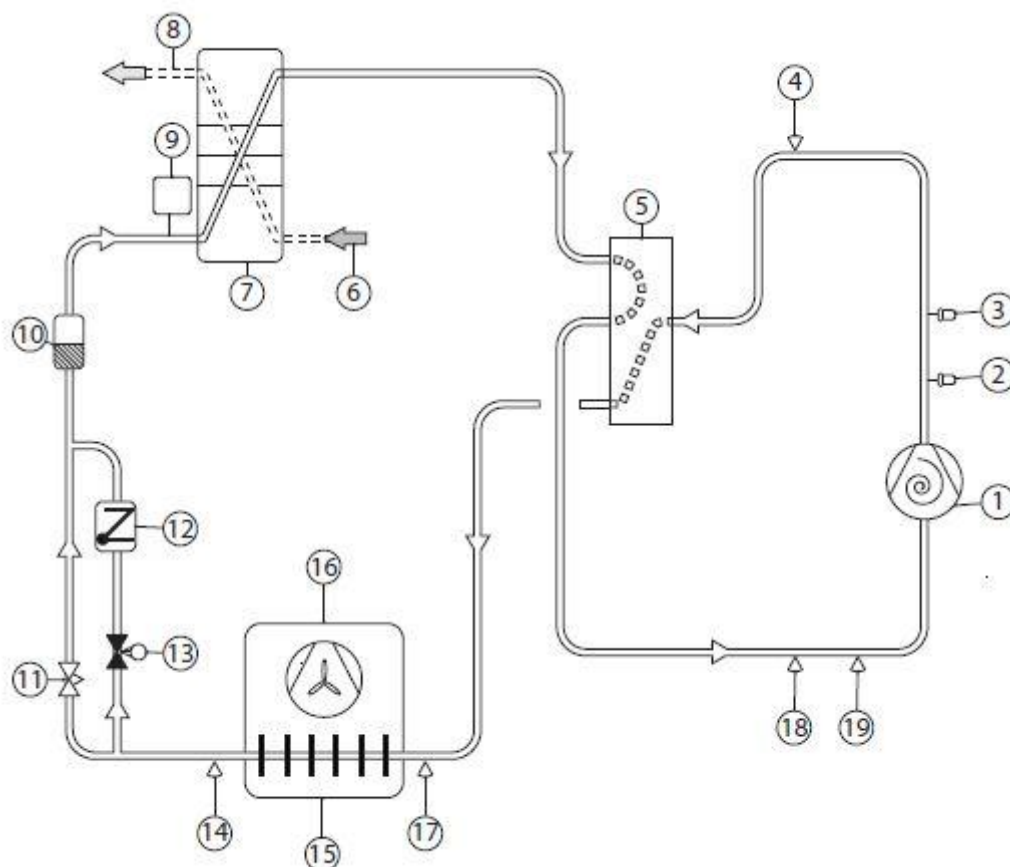


Pozice	Popis	Pozice	Popis
1	Kompresor	11	Elektronický expanzní ventil
2	Provozní presostat	12	Zpětný ventil
3	Vysokotlaký presostat	13	Magnetický ventil
4	Snímač teploty výtlačného potrubí	14	Snímač chladiva 2
5	Čtyřcestný ventil	15	Výměník vzduchu (výparník)
6	Otopná soustava (studené zpětné potrubí)	16	Ventilátor
7	Deskový tepelný výměník (kondenzátor)	17	Snímač chladiva 1
8	Otopná soustava (teplé přívodní potrubí)	18	Přenašeč tlaku
9	Přijímač	19	Přenašeč teploty
10	Filtr dehydrátor		

Obr. 4.4 – Schéma funkce ohřevu [49]

Funkce chlazení (obr. 4.5):

Jakmile dostane kompresor (1) signál pro spuštění, vhání se pod tlakem chladivo v plynném stavu přes čtyřcestný ventil (5) do výměníku vzduchu (15). Horké chladivo odevzdá teplo do výměníku vzduchu (15), přejde do kapalného skupenství a pokračuje do deskového tepelného výměníku (7). V deskovém tepelném výměníku (7) se chladivo zahřeje teplejším systémem vytápění (6) a přejde do plynného stavu. Systém vytápění se ochladí. Chladivo pokračuje přes čtyřcestný ventil (5) zpět do kompresoru (1). [49]



Pozice	Popis	Pozice	Popis
1	Kompresor	11	Elektronický expanzní ventil
2	Provozní presostat	12	Zpětný ventil
3	Vysokotlaký presostat	13	Magnetický ventil
4	Snímač teploty výtlačného potrubí	14	Snímač chladiva 2
5	Čtyřcestný ventil	15	Výměník vzduchu (výparník)
6	Otopná soustava (studené zpětné potrubí)	16	Ventilátor
7	Deskový tepelný výměník (kondenzátor)	17	Snímač chladiva 1
8	Otopná soustava (teplé přívodní potrubí)	18	Přenašeč tlaku
9	Přijímač	19	Přenašeč teploty
10	Filtr dehydrátor		

Obr. 4.5 – Schéma funkce chlazení [49]

Tepelné čerpadlo se tak jeví jako další relativně efektivní způsob k dosažení tepelné pohody v interiéru. Jeho nespornou výhodou je, že dokáže řešit letní i zimní podmínky a vede ke snížení odběru elektrického proudu. Další výhodou, která hraje ve prospěch tohoto systému je ta, že se zde jeví potenciální možnost využití ztrátového tepla z elektromotoru a frekvenčního měniče. Technické řešení pak realizujeme zařazením tepelného výměníku do systému, kde bude předávat část tepla tepelnému čerpadlu, které by jinak přišlo nazmar.

4.3 Peltierovy články

Peltierův jev je znám především ve spojení s termoelektrickými bateriemi. Tyto baterie slouží k přímé přeměně elektrické energie na tepelnou a naopak. Mohou sloužit k těmto účelům:

Termoelektrické chlazení

Je nejrozšířenější a jeho předností je soustředění chladicího účinku na velmi malou plochu. Zařízení je spolehlivé a teplota se dá snadno regulovat změnou velikosti napájecího proudu. Nevýhoda oproti běžným kompresorovým a absorpčním agregátům je, že nedosahují takových tepelných parametrů (mají špatnou účinnost). [50]

Termoelektrické topení

Méně používaný případ. Výhoda spočívá v tom, že baterie mají plochý tvar, takže ohřev dané stěny či plochy je rovnoměrný. [50]

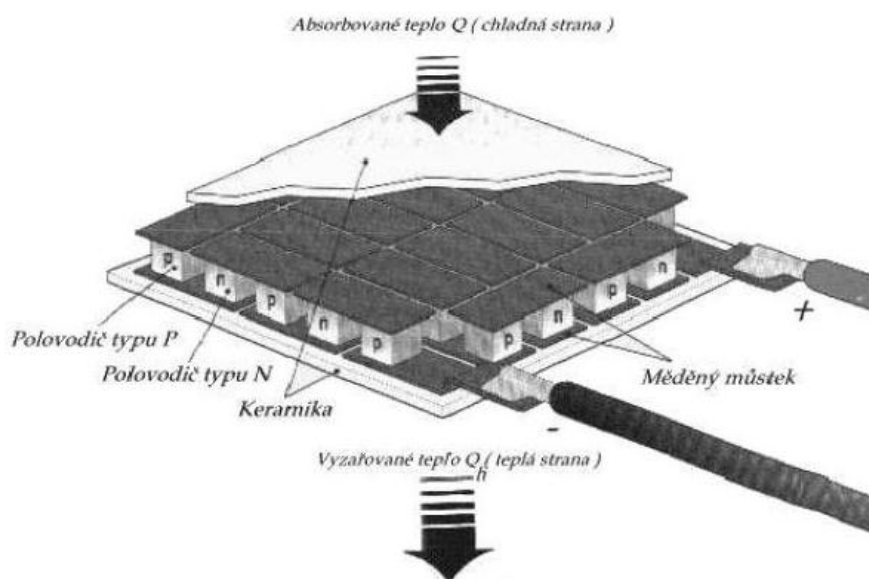
Výroba elektrického proudu

Termoelektrické baterie jsou vyráběné hlavně pro účely chlazení a díky tomu nejsou pro výrobu elektrického proudu vhodné. Proud ale vyrábět teoreticky lze. [50]

Peltierův článek

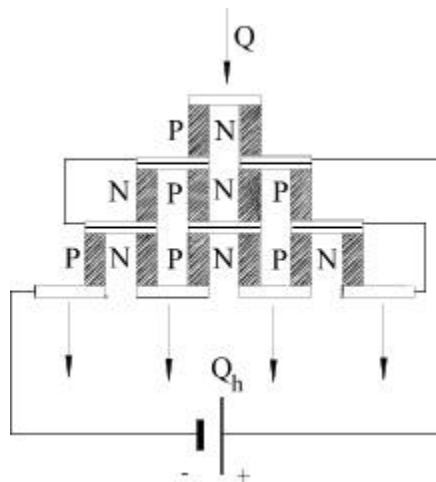
Peltierův článek se skládá ze dvou polovodičových tělísek a spojovacího můstku, které zprostředkovávají jednak přívod elektrické energie a jednak absorbují a vyzařují teplo. Základní zapojení Peltierova článku je znázorněno na obr. 4.6.

Základním polovodičovým materiálem na Peltierovy články jsou převážně vizmut-telluridy, tj. termální systémy Bi-Te-Se (N-typ – polovodič s děrovou vodivostí) a Bi-Sb-Te (P-typ – polovodič s elektronovou vodivostí). Tyto materiály mají výhodné termoelektrické vlastnosti, nízký měrný elektrický odpor a malou tepelnou vodivost. V místě styku můstku a polovodiče vzniká nežádoucí přechodový odpor, který může značně nepříznivě ovlivnit dosažitelný topný výkon Q_h článku a maximální dosažitelný teplotní rozdíl obou spojek. Nejlepší termoelektrický materiál je tedy bezcenný, nepodaří-li se najít vhodný technologický postup výroby, zajišťující nízký přechodový odpor. [51]



Obr. 4.6 – Peltierův článek [50]

Jednotlivé Peltierovy články se obvykle zapojují do série ve větší celky, tzv. chladicí termobaterie viz obr. 4.7. K dosažení vyšších teplotních rozdílů při zachování určitého chladicího výkonu se spojují jednotlivé termoelementy do kaskádních baterií nebo termobaterie do kaskády. V tomto případě se musí zajistit elektrická izolace mezi termobateriemi. Jako izolace se používají keramika s dobrou tepelnou vodivostí. V dnešní době se vyrábějí termobaterie již s touto izolací.



Obr. 4.7 – Termobaterie složená z několika Peltierových článků [51]

Peltierovy články jsou tedy další alternativou přímého elektrického ohřevu, samy o sobě jsou ale špatně použitelné a to z důvodu nízké účinnosti. Za špatnou účinnost a efektivitu celého systému může velká spotřeba proudu. Pro nás ale určitě opodstatnění mají, protože v elektromobilu se může nacházet docela nezanedbatelná část ztrátového tepla, které má sice malou teplotu, ale vhodným použitím Peltierových článků se z tohoto tepla určitá část odebere a při dodávce proudu pak na výstupu máme teplo s diferencí (oproti chladnějšímu konci) až 40 °C. Takto teplý výstup už může ohřívat interiér přímo nebo může například pomáhat okruhu, ve kterém je zapojena odporová topná spirála.

4.4 Topení infrazářiči

Speciálním druhem elektrického topení je vytápění infrazářiči. Infratopení je moderním způsobem vytápění a pro vytápění používá tzv. infrapanely, které slouží k vytváření toku infračerveného záření. Sálavé vytápění (infratopení) je tvořeno zdrojem, vyzařujícím tepelné paprsky v infračerveném oboru. Tyto paprsky, stejně jako tepelné sluneční paprsky dopadající na zem, procházejí vzduchem, aniž by ho svým průchodem zahřívaly. Teplo je předáváno osobám a předmětům v prostoru přímo ve vozidle, prakticky bez dalšího prostředníka, jímž je vzduch. Ten je ohříván teprve následně ode všech zahřátých součástí. [52]

Infračervené záření

Infračervené záření je elektromagnetické vlnění o vlnové délce větší, než je vlnová délka viditelného světla, a kratší než vlnová délka mikrovln. Šíří se rychlostí světla, tedy necelých 300 000 km/s. Výkon vyzařování je přímo úměrný čtvrté mocnině absolutní teploty zdroje. Podobně jako u jiných druhů záření, intenzita tohoto vlnění klesá s druhou mocninou vzdálenosti od zdroje. [53]

Výhody sálavého topení

Neohřívá vzduch, takže pro stejnou teplotní pohodu je zapotřebí nižší teplota vzduchu než při konvenčním vytápění. Rozdíl teploty vzduchu pod stropem vozu a nad podlahou je pak minimální. Teplotu v interiéru elektromobilu lze při stejné teplotní pohodě pro člověka snížit až o několik °C. [54]

Při konvenčním topení (ohřev proudem vzduchu) se teplý vzduch hromadí pod stropem vozu, neboť je lehčí než studený. Ten se drží naopak dole u podlahy. Teplota vzduchu pod stropem proti teplotě vzduchu u podlahy může být dle okolností vyšší o 5 až 10 °C. [54]

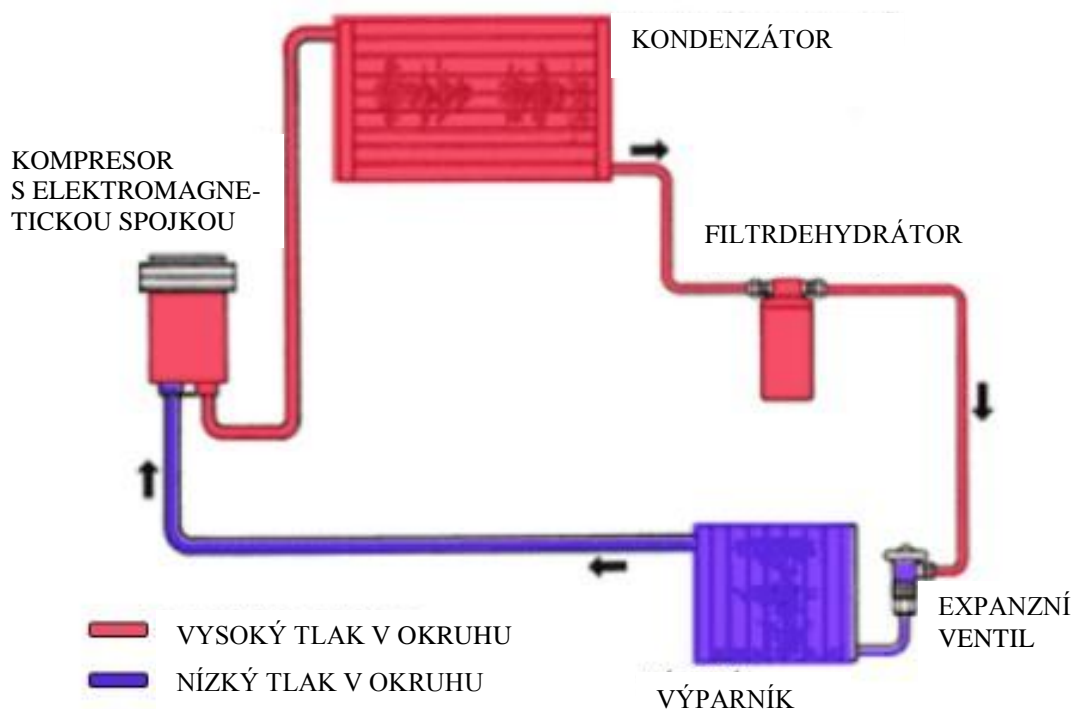
Nevýhody sálavého topení

Sálavé topení působí pouze v prostoru, kde je instalováno. Ohřívány předměty musí mít totiž přímou viditelnost na panel. Pokud je v cestě překážka, jsou tepelné paprsky pohlceny nebo odraženy.

5 KLIMATIZACE

V předchozí kapitole již byla popsána funkce tepelného čerpadla, které do jisté míry koresponduje s klimatizací a jejich komponenty jsou v podstatě shodné. Řešeno bylo ale spíše hledisko, podle kterého bylo nasazení tepelného čerpadla sloužícího jak pro ohřev, tak pro chlazení interiéru výhodné v rámci úspory elektrické energie. Proto si nyní stručně rozebereme funkci, pro lepší pochopení toho co se děje s chladivem v okruhu.

V první řadě je potřeba si uvědomit, že klimatizace chlad nevyrábí, pouze předává teplo z jednoho prostředí do druhého. Princip se dá přirovnat k ledničce, jakou máme všichni doma. Využívá vlastností chladicího média, které v závislosti na tlaku a teplotě přechází mezi kapalnou a plynnou fází. Tento přechod mezi kapalinou a plynem je spojen s velkým množstvím tepla. Za normálního tlaku a teploty je chladicí médium v plynném stavu. Jestliže chladivo stlačíme na vysoký tlak, dojde k jeho značnému zahřátí. Proto se musí ochladit v chladiči klimatizace (tzv. kondenzátoru). Tím předáme teplo okolí a chladicí médium přechází do kapalného stavu. Jestliže do okruhu zařadíme trysku, která zajistí nejužší místo v okruhu klimatizace, dojde za tryskou k prudkému poklesu tlaku, a chladicí médium přechází zpět do plynného stavu a rapidně klesá teplota. To je využito k ochlazení vzduchu uvnitř vozidla v tzv. výparníku. Ve výparníku je plynné chladivo zahřáto na "normální" teplotu a vstupuje zpět do kompresoru. [55]



Obr. 5.1 – Schéma automobilové klimatizace [55]

Automobilová klimatizace je vysokotlakové zařízení. O vysoký tlak v okruhu se stará kompresor. Kromě chladiva je v okruhu obsaženo přesné množství speciálního oleje, zajišťujícího dokonalé mazání kompresoru. Bez něj se kompresor už po několika okamžicích poškodí a může to skončit jeho úplným zadřením. Chladicí médium a vlastně celý okruh klimatizace pak klade požadavky na čistotu a těsnost. [55]

6 ALTERNATIVNÍ ZPŮSOBY VYTÁPĚNÍ

Jak vytápění tak klimatizace jsou hodně energeticky náročné a jejich používání má zásadní vliv na dojezd elektrického vozidla. Např. pokud bychom pustili klimatizaci či topení na potřebný výkon přibližně 5 kW, zvýší se spotřeba elektrického vozidla zhruba o pětinu (běžná spotřeba je dnes cca 20 kWh na 100 km), což má za následek také snížení dojezdu o pětinu. Proto je vedle zvyšování elektrické kapacity trakčních baterií v současné době důležité, abychom v oblasti elektromobility věnovali pozornost také jiným způsobům vytápění. Důležité je hledat alternativní řešení přímé přeměny trakční elektrické energie na teplo, avšak za předpokladu zachování bezemisního provozu, nebo v krajním případě při výrazném omezení emisí. [56]

Klimatizace je však závislá vyloženě na dodané elektrické energii, proto se budeme věnovat pouze vytápění v zimním období. Vytápění je však možné řešit i jinak než elektricky. Pro vytápění tedy použijeme nezávislé topení. Toto nezávislé topení vyrábějí například firmy Eberspächer, Webasto, Truma či Ateso.

Nezávislé topení

Již ze samotného názvu "nezávislé topení" je zřejmé, že toto topení není závislé na chodu motoru elektromobilu. Jednoduše můžeme zajistit komfort a pohodlí kdykoliv si vzpomeneme. Nezávislé topení řeší hned dva důležité problémy.

První z nich už byl nastíněn u elektrického odporového ohřevu a jedná se o nastupování do zmrzlého vozu. Nezávislé topení je totiž programovatelné a nastavitelné na dálku. Řeší se tím problém, kdy v zimě většina řidičů běhá kolem zamrzlého auta a čistí skla. Z pohodlí domova pak můžeme nastavit, v kterou denní dobu má motor sepnout a ten interiér vozu spolehlivě vyhřeje. Vytopení vozidla na přibližně 20 °C při venkovní teplotě -10 °C se pak pohybuje okolo 15 minut. [57]



Obr. 6.1 – Namrznuté auto [55]

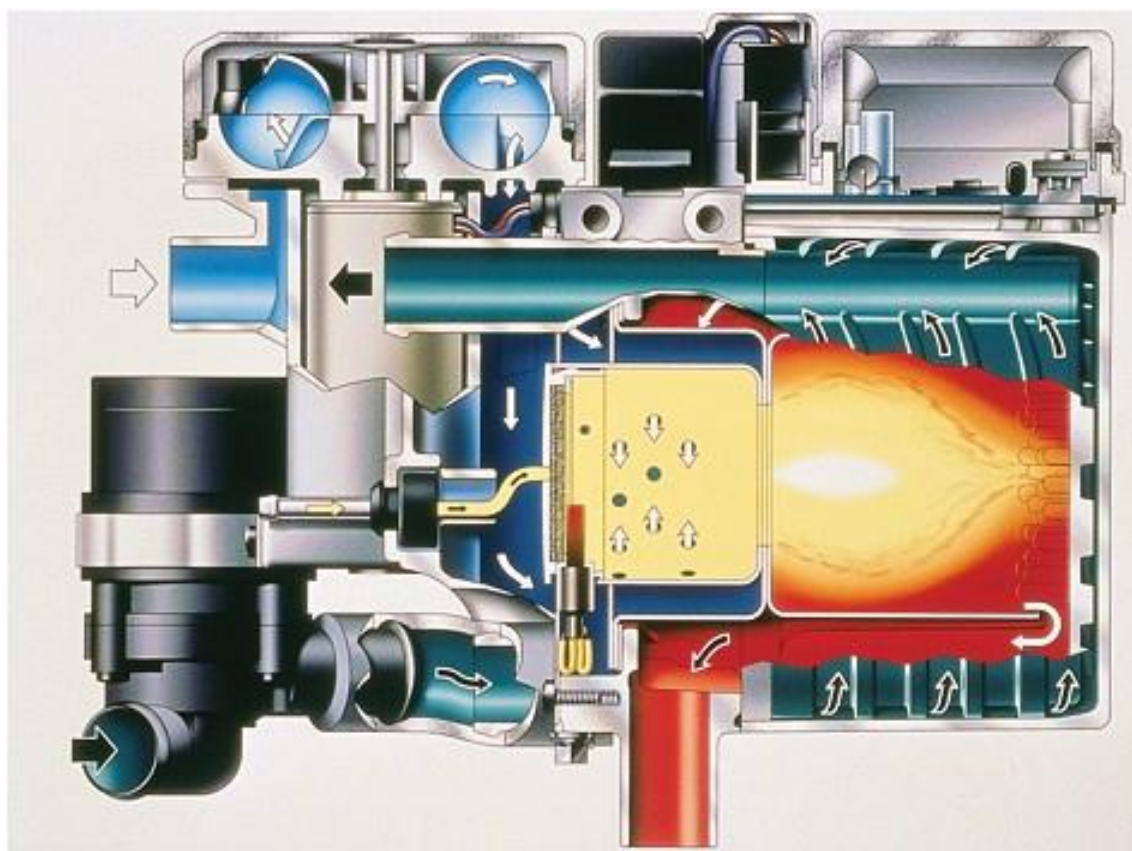
Druhým velkým problémem u elektromobilů je dojezd vozidla. Spotřeba elektrické energie může při velmi tuhé zimě a použití elektrického ohřevu stoupnout až o 1/4. Tento dojezd pak zabudováním nezávislého topení rozhodně pozitivně ovlivníme,

přičemž odborníci tvrdí, že na vytápění přes celou zimu je v průměru potřeba zhruba 15 litrů. Toto číslo je však hodně závislé na klimatických podmínkách v daném roce a také lokalitě, v které bydlíme. Zimní cestování se díky nezávislému topení tak stane mnohem jednodušší a komfortnější. [58]

Existují dva základní druhy nezávislých topení: teplovodní a teplovzdušné. Každé z nich má své výhody a nevýhody:

TEPLOVODNÍ NEZÁVISLÁ TOPENÍ (Webasto Thermo Top)

Nezávislé teplovodní topení je malé kompaktní zařízení, které je umístěno většinou do motorového prostoru auta. Chladnější kapalina proudí přes spalovací komoru a jako teplejší z něj poté vystupuje. Ohřátá kapalina pak putuje do tepleného výměníku, který předá teplo pro vytopení interiéru vozu. Proudění kapaliny pak zajišťuje malé čerpadlo, které ovšem potřebuje k svému provozu proud z akumulátorů. Spotřeba proudu se, ale oproti přímému elektrickému topení, razantně sníží. [55]

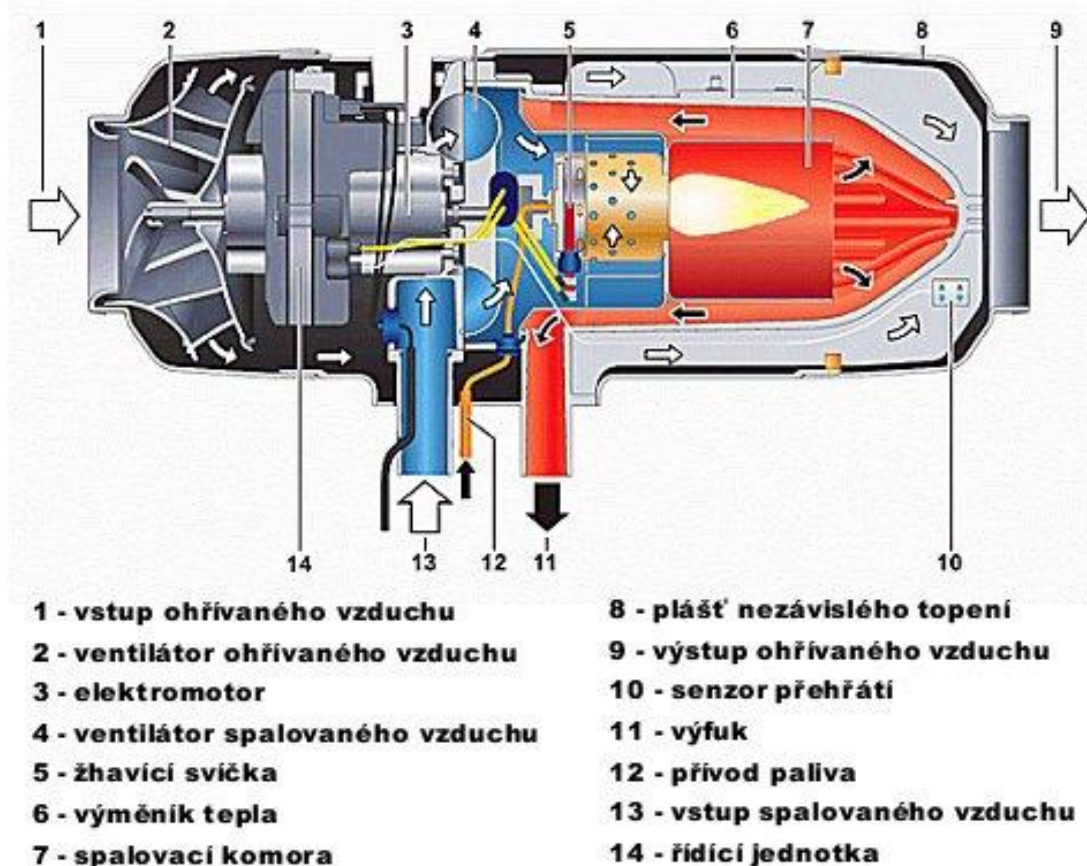


Obr. 6.2 – Řez teplovodním topením [55]

V elektromobilu se toto zařízení jeví jako dobře použitelné, protože se nabízí možnost využít ztrátové teplo z elektricky ohřívaných součástí, které by jinak přišlo nazmar. Výhodná je pro nás zejména možnost přímého napojení na teplovodní okruh ztrátového tepla. Důležité je zhodnotit, zdali toto, řešení není neefektivní. To by se mohlo stát v případě, že by topná voda vracející se znovu potrubím do spalovací komory měla vyšší teplotu než voda, která jde ve formě ztrátového tepla z elektromotoru a frekvenčního měniče. Vodní chlazení má také výhodu v tom, že do jisté míry eliminuje vzniklé hlukové emise. Místo vody se často používá nemrznoucí kapalina, aby nedošlo k zamrznutí celého systému.

TEPLOVZDUŠNÁ NEZÁVISLÁ TOPENÍ (Webasto Air Top)

Tento typ topení ohřívá přímo vzduch v interiéru vozidla, chladný vzduch nasává z kabiny vozu. Požadovaná teplota je díky snadné cirkulaci vzduchu dosažena velmi rychle. Zařízení je možné umístit v kabině, zavazadlovém prostoru nebo pod podlahou. Je tak jako teplovodní topení dálkově řiditelné a předem programovatelné. [57]



Obr. 6.3 – Řez teplovzdušným topením [55]

Teplovzdušné topení má přednost v tom, že oproti teplovodnímu dokáže interiér vozu vytopit o něco rychleji. Je to dáno tím, že ohřátý vzduch cirkuluje přímo do interiéru, nemusí procházet přes další výměník a až po té do kabiny vozu. Na rozdíl od přímého elektrického ohřevu zde nehrozí nepříjemný zápach. Částečně omezující však může být vyšší hluchost, kterou vzduch neumí tak dobře jako voda izolovat.

Vzhledem k náročnosti zástavby nezávislého topení do vozu je zcela vyloučena možnost dodatečné montáže jinde, než u autorizovaného servisního partnera. Časová náročnost montáže je závislá na konkrétních požadavcích, avšak ve většině případů je vůz připraven k převzetí během 2 - 3 dní od přistavení do servisu. [57]

Alternativní paliva

Naprostá většina spalovacích motorů dnes využívá ke svému pohonu benzín nebo naftu. Jak víme, tato paliva se vyrábějí z ropy a jejich spalováním vzniká velké množství různých druhů škodlivin. Existují však i jiné možnosti jak pohánět dopravní prostředky. Jedním ze způsobů jak dosáhnout ekologičtějšího provozu a menší zátěže životního prostředí je použití alternativních paliv. Alternativní paliva se dělí na plynná (LPG, CNG, vodík) a kapalná (biopaliva a jejich směsi). [59]

Jejich výhoda spočívá zejména v tom, že nepředstavují, až na výjimky, změnu technologie pohonu. Pomocí nenáročných úprav klasického spalovacího motoru nebo dodatečnou instalací některých prvků, lze jednoduše dosáhnout omezení limitovaných emisí (oxid uhelnatý (CO), uhlovodíky, oxidy dusíku (NO_x), pevné částice (PM), dalších znečišťujících látek (např. polyaromatické uhlovodíky – PAU) a skleníkových plynů, zejména oxidu uhličitého (CO₂). Proto je podpora alternativních paliv jedním z pilířů udržitelné dopravy směřující k ekologicky i ekonomicky výhodnějším řešením. [59]

Zemní plyn (CNG, LNG)

Zemní plyn je nejčistší fosilní palivo. Přibližně z 98 % je tvořen metanem, nejlehčím uhlovodíkem s jedním atomem uhlíku v molekule. Společně s LPG patří mezi nejlevnější varianty, a to rovněž v důsledku nízké spotřební daně ve srovnání s klasickými palivy. Zemní plyn se přímo těží, nemusí se vyrábět náročnými technologickými postupy. Jeho zásoby jsou větší než v případě ropy. V dopravě se zemní plyn používá zejména ve formě stlačené (Compressed Natural Gas, CNG), začíná se prosazovat i ve formě zkapalněné (Liquefied Natural Gas, LNG), což je jediná forma zemního plynu, kterou je možné přepravovat tankery. [59]

Bioetanol

Bioetanol (biolih) se vyrábí alkoholovým kvašením z biomasy. Je to stejný proces, kterým vzniká alkohol při výrobě piva z ječného sladu nebo vína z hroznů. Biolih patří k biopalivům tzv. 1. generace. Na jeho výrobu se používají rostliny obsahující větší množství škrobu a sacharidů (cukrů), např. kukuřice, obilí nebo brambory. Mezi největší výhody používání bioetanolu ve srovnání s benzínem jsou nižší náklady na jeho výrobu, snížení emisí oxidu uhličitého (CO₂) a toxických zplodin a vyšší oktanové číslo. Z jednoho hektaru obilí lze v podmínkách ČR získat asi 1 600 litrů bioetanolu. Při spalování bioetanolu E 85 se snižují emise oxidu uhličitého (CO₂) až o 70 % a snižují se rovněž emise prašných částic (PM). [59]

Bionafta

Jedná se o ekologické palivo rostlinného původu vyrobené z oleje pocházejícího z tzv. energetických plodin. Vstupní surovinou pro výrobu bionafty je olej, který se získává lisováním většinou řepkového semene. Z hektaru řepky lze získat asi 1 200 litrů oleje. Lze ale použít i jiné olejnaté plodiny, např. slunečnici nebo sóju. Bionafta se používá pro spalování ve vznětových motorech, jako náhrada za naftu. Jednou z hlavních nevýhod bionafty je energetická náročnost celého výrobního procesu a také vysoká produkce skleníkových plynů při výrobě. Poměrně významnou nevýhodou je zkrácená doba skladování. Bionafta totiž poměrně rychle stárne, neměla by zůstat ve vozidle déle jak jeden měsíc. [59]

Vodík

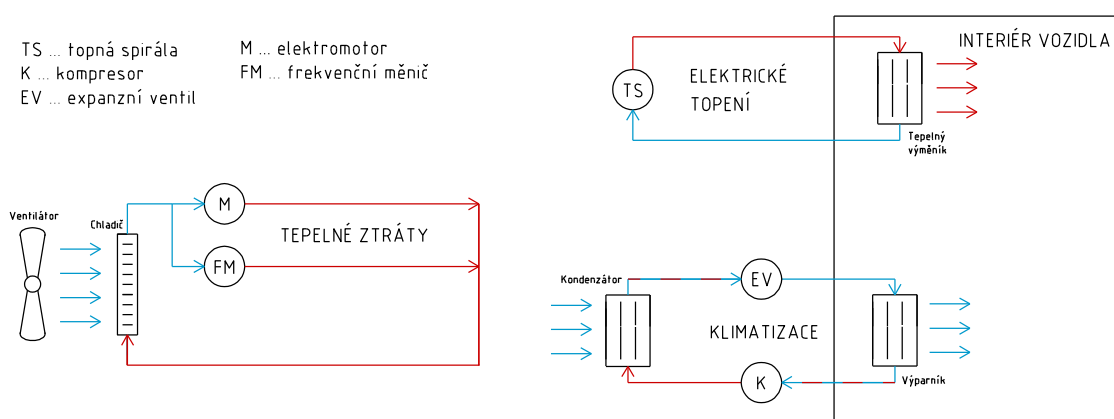
Použití vodíku (H) jako paliva v dopravě patří z hlediska životního prostředí mezi velmi nadějně technologie. Vodík je lehký hořlavý plyn, bez barvy a zápachu a jedná se o zcela čisté palivo. Při jeho spalování vzniká pouze vodní pára a v případě spalování se vzduchem malé množství oxidů dusíku (NO_x), protože vzduch obsahuje dusík. Pokud by bylo spalování okysličováno jiným způsobem než ze vzduchu, i tyto emise by odpadly. Při spalování vodíku v žádném případě nevznikají skleníkové plyny. Vodíkový pohon by mohl v budoucnu nahradit hlavní technologii 20. století – spalovací motor s benzínovým či naftovým pohonem. [59]

7 KONSTRUKČNÍ NÁVRHY

Na základě poznatků předchozích kapitol bylo vypracováno 5 různých konceptů, které jsou v dále této kapitole popsány. Řešení problematiky není ani zdaleka těmito návrhy vyčerpáno, ale pro vytvoření základní představy jsou patřičné návrhy určitě postačující.

Koncept č. 1

V tomto návrhu je pro ohřev interiéru použito elektrické topení, chlazení pak zabezpečuje elektrická klimatizace. Řešení nepředpokládá využití ztrátového tepla, které vzniká chlazením elektromotoru a frekvenčního měniče. Všechny okruhy jsou tak na sobě nezávislé.



Obr. 7.1 – Schéma 1. konstrukčního návrhu

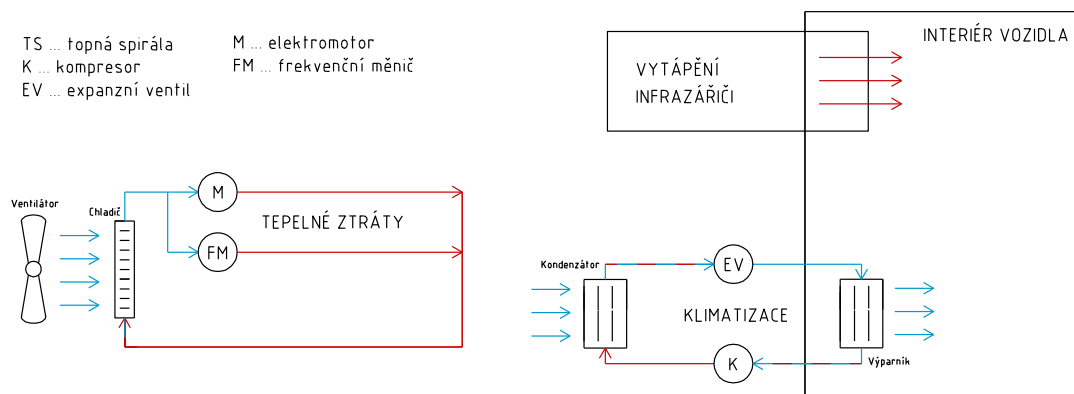
Jedná se tedy o čistě elektrický způsob regulace teploty, kdy topení i klimatizace potřebují pro svůj chod elektrický proud z baterií. Elektrické topení je zvoleno kvůli možnosti komfortního předvytopení interiéru v zimním období. Topení je programovatelné a lze tak docílit tepelné pohody pro následnou jízdu.

Tepelné ztráty není snadné zužitkovat i díky malé výstupní teplotě (30 - 40 °C). Při případném napojení na okruh elektrického topení, kde teplota proudící kapaliny je přibližně 45 - 55 °C. Při tomto zapojení bude kapalina proudící z elektromotoru a frekvenčního měniče přehřívána na požadovanou úroveň a následně použita pro vytápění. Díky tomu můžeme běžně ušetřit kolem 800 W výkonu, elektrické topení pro zahřátí kabiny vozu normálně potřebuje kolem 5 kW. Problémem ovšem je, že topné médium neproudí zpět přes topnou spirálu, kde má ještě relativně vysokou teplotu, ale přes chladič kde ztratíme spoustu energie. Elektromotor a měnič je totiž i nadále nutné chladit.

Ztrátové teplo určitě jistý potenciál skrývá. Pro jeho další využití je nutné do okruhu zařadit nějaký systém, který tyto okruhy spojí a zároveň zachová samostatnost, aby jednotlivé okruhy nesdílely jednu kapalinu. Důležitým předpokladem efektivnosti takového řešení je fakt, že při příliš velké hmotnosti tohoto zařízení může být ekonomičtější zakoupení více bateriových článků. Více článků pak může poskytnout jednak prodloužený dojezd a jednak dostatek energie na vytápění.

Koncept č. 2

Jedná se o obdobný konstrukční návrh jako v předcházejícím případě. Zachována zůstává klimatizace a opět nebudeme využívat ztrátové teplo. Elektrické vytápění je však nahrazeno infrazářiči, které také pro svůj provoz potřebují elektrický proud.



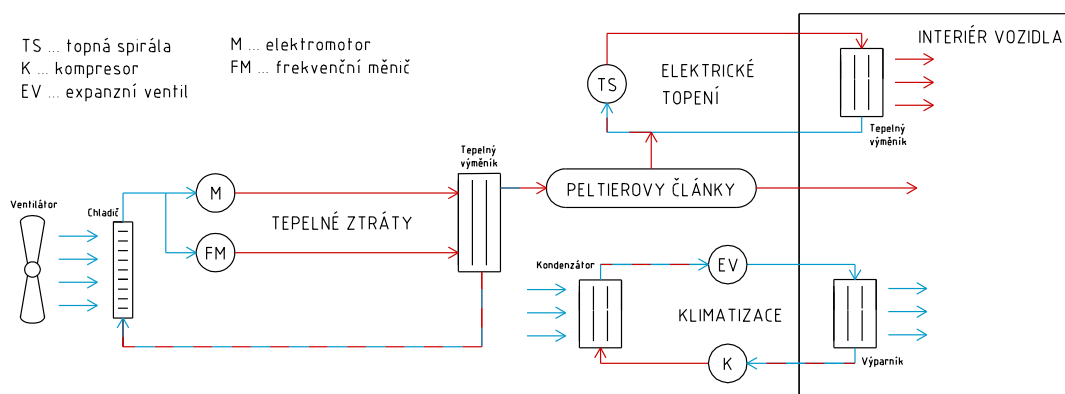
Obr. 7.2 – Schéma 2. konstrukčního návrhu

Výhoda infratopení oproti předchozímu způsobu je ta, že neohříváme vzduch, takže pro stejnou teplotní pohodu je zapotřebí nižší teplota vzduchu. Rozdíl teploty vzduchu pod stropem vozu a nad podlahou je pak minimální. Při klasickém topení (nejprve ohříváme vzduch) se teplý vzduch hromadí pod stropem vozu, neboť je lehčí než studený. Ten se drží naopak dole u podlahy. To způsobí rozdílnou teplotu u stropu a u podlahy vozu a tím pádem pomalejší ohřev interiéru.

Nevýhodou sálavého topení je to, že působí pouze v prostoru kde je instalováno. Ohříváný předmět musí mít totiž přímou viditelnost na panel. Pokud je v cestě překážka, jsou tepelné paprsky pohlceny nebo odraženy. Infrapanely by musely být umístěny nejlépe na pozici předního skla a u stropu, což v případě skla není technicky možné. Takový panel by pak musel nahradit přední sklo, to znamená vyzařovat teplo pouze do interiéru vozu a být průhledný.

Koncept č. 3

Tento návrh si bere za cíl využít tepelné ztráty, které vznikají ochlazováním elektromotoru a frekvenčního měniče. Docílíme toho použitím Peltierových článků. Koncepte počítá s použitím elektrického topení a klimatizace.

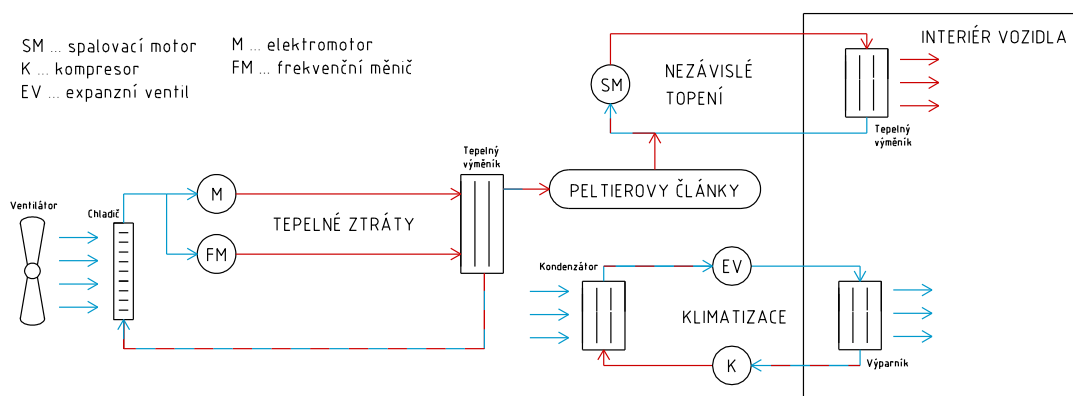


Obr. 7.3 – Schéma 3. konstrukčního návrhu

Použitím Peltierových článků dokážeme vstupní teplotu 30 °C zvýšit na 70 °C a to díky jejich maximální teplotní diferencii, která je až 40 stupňů. Peltierovy články snesou maximální teplotu až do 170 °C, takže se nemusíme obávat jejich případného poškození vlivem přehřátí (příliš vysoké teploty). Peltierovy články budou odebírat teplo z okruhu, který chladí elektromotor a frekvenční měnič a dodávat ho přibližně o teplotě okolo 65 °C do okruhu s elektrickým topením. To způsobí reálnou úsporu až 1 kW výkonu, v závislosti na zvoleném typu jízdy. Peltierovy články mají špatnou účinnost, odebírají relativně hodně velký proud, proto je potřeba porovnat uspořené teplo s energií, kterou spotřebují na svůj chod. Při kladné bilanci je využití Peltierových článků určitě zajímavým řešením.

Koncept č. 4

Tak jako předchozí koncept i tento využívá tepelné ztráty. Docílíme toho opět použitím Peltierových článků. Místo elektrického topení je však použito alternativní nezávislé topení, klimatizace zůstává stále stejná.



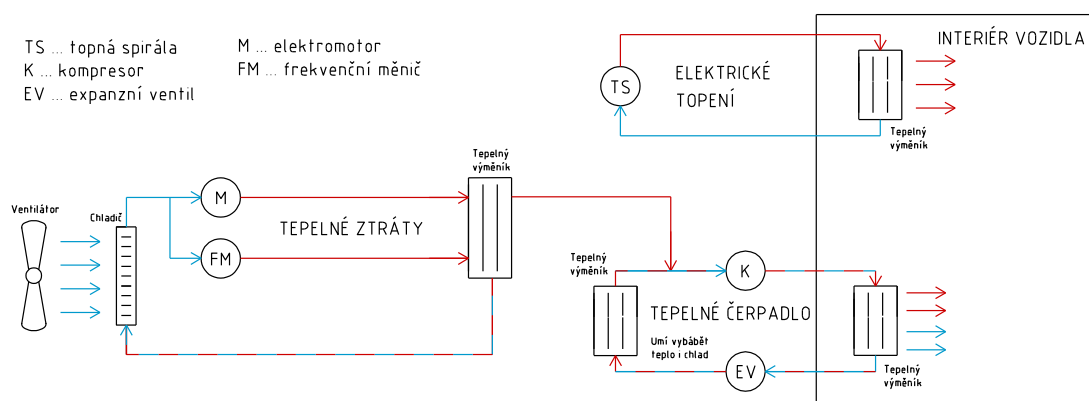
Obr. 7.4 – Schéma 4. konstrukčního návrhu

Nezávislé topení na bázi spalovacího motoru je určitou alternativou alespoň v zimním období. Jeho velkou předností je uspořené elektrické energie, která pak může být použita pro zvýšení dojezdu vozidla. Velkým problémem současných elektromobilů je totiž dojezd, který je aktuálně oproti konvenčním automobilům žalostně nízký. Nezávislé topení sice produkuje emise, ty však lze do jisté míry eliminovat použitím alternativních biopaliv, například bioethanolu. V takovém případě se pak dostáváme na hodnoty, které jsou téměř zanedbatelné a vyváží tak potřebu vysokého dojezdu. Výhodou opět je, že je tento způsob vytápění opět programovatelný a tudíž si můžeme nastavit elektromobil tak, aby při nástupu do vozu byla zajištěna optimální tepelná pohoda (jako u elektrického topení).

Alternativu pro klimatizaci však nemáme a proto se tato koncepce jeví výhodná zejména pro země, kde průměrná letní teplota nepřesahuje 25 °C. Při této teplotě se ještě dá říct, že pozornost řidiče je stále na relativně vysoké úrovni a klimatizaci v takovém případě nebudeme muset příliš používat.

Koncept č. 5

I v tomto návrhu jde především o využití ztrátového tepla. Tentokrát se obejdeme bez použití Peltierových článků a tepelné ztráty přivedeme přes výměník do okruhu s tepelným čerpadlem. Tepelné čerpadlo v takovém případě může sloužit pro chlazení i ohřev interiéru. Stačí k tomu velmi málo konstrukčních úprav, kdy do klasického klimatizačního okruhu navíc přidáme čtyřcestný ventil. Elektrické topení ve schématu zůstává z důvodu předvytopení interiéru v zimě. V elektromobilu ale nemusí být vůbec zařazeno.



Obr. 7.5 – Schéma 5. konstrukčního návrhu

Tepelné čerpadlo je v tomto případě v podstatě taková lepší klimatizace. Stále je nutné přivádět velké množství dalších energií, ať se jedná o proud nebo energii z venkovního prostředí. Ztrátové teplo, totiž nemá dostatečně velký potenciál a hlavně je částečně proměnlivé v závislosti na zvoleném jízdním režimu.

Tepelné čerpadlo pak obsahuje kompresor, expanzní ventil, čtyřcestný ventil, kondenzátor, výparník a jeden tepelný výměník navíc. Tento výměník je součástí okruhu ztrátového tepla a je zařazen za výparník. Čtyřcestný ventil má pak jako hlavní úkol změnu proudění chladicího či topného média. Mění se i označení pojmů, díky čemuž se kondenzátor změní na výparník a naopak. Vše závisí na potřebě topit či chladit.

8 ZÁVĚR

Vytápění elektromobilů související se zvyšováním jejich dojezdu přináší dnes, v době kdy se tyto vozy stále více dostávají do povědomí lidí, obrovský prostor pro nové a inovativní technologie. Vytápění a potažmo i chlazení totiž v současné době velmi negativně ovlivňuje dojezd vozidla. Jednou z možností řešení tohoto problému je vyvíjení dokonalejších zásobníků elektrické energie (palivových článků, akumulátorů), z kterých by bylo možno pohánět topný i chladicí systém. Alternativou pak může být využití odpadního tepla, které elektromobil produkuje z elektromotoru a frekvenčního měniče, případně i baterií. Další cesty pak vedou skrze spalování pohonných hmot a ušetření elektrického proudu pro účely maximálního dojezdu. Na tento způsob jsou však kladeny příliš velké požadavky z hlediska nulových emisí, kterými se elektrická vozidla pyšní.

Jako jedna z dalších možností je využití ztrátového tepla. Řešení, které se v tomto směru nabízí, je využití Peltierových článků nebo tepelného čerpadla. Pro zhodnocení výhodnosti je třeba vycházet z navržených konstrukčních koncepcí. Obě metody jsou velmi zajímavé, efektivnější se však jeví použití Peltierových článků a to z důvodu vyšší teoretické úspory. Peltierovy články odejmou část ztrátového tepla, tím ještě více ochladí kapalinu v tomto okruhu, a předávají ho do topného okruhu s teplotní diferencí přibližně 35 °C. Teplota na výstupu se bude pohybovat okolo 65 °C, dojde tedy k ohřátí topné kapaliny a předání tepelných ztrát. Toto může ušetřit až 1/5 potřebného výkonu.

Automobilky se v současnosti příliš nezabývají různými způsoby alternativních řešení. Směr, který preferují, je čistě elektrický. Je to především z důvodu nulových emisí. Účinnost elektrických zařízení je dnes opravdu velmi vysoká i přesto ve vývoji vidíme stále určité pokroky, často se však jedná spíše o malé krůčky, než zásadní objevy. Tento způsob, kdy záměrně nechceme využít ztrátové teplo má ale i své opodstatnění. Finančně nákladné alternativní zařízení, které by využívalo tepelných či jiných ztrát, může být plnohodnotně nahrazeno dostatečným počtem akumulátorů. Proto i finanční prostředky, které by jinak byly využity na zavedení těchto alternativních metod, směřují do vývoje výkonnějších akumulátorů. Další roli zde hraje i hmotnost vyvinutého zařízení, kdy si často místo složitého alternativního systému pořídíme o to více baterií. Výše uvedené má opodstatnění i v případě, kdy nepotřebujeme vytápět ani chladit, energie nám zůstane na zvýšení dojezdu vozidla.

Větší dojezd, kratší časy nabíjení a rozsáhlejší síť dobíjecích stanic potenciálně přiláká nové zákazníky a pravděpodobně srazí cenu těchto technologií několikanásobně dolů. To bude mít ve výsledku vliv i na koncovou cenu, která se může velmi přiblížit cenám konvenčních automobilů. Jedním z dnešních nešvarů je také i nedostatečná propagace, kdy lidé od elektromobilů očekávají vlastnosti, jaké jim nabízí běžné automobily, a přesto by jim současné technologie stačili k pokrytí 90 % svých potřeb (dojíždění do práce, na nákupy, do sousední obce) a tak je odmítají hlavně kvůli nízkému dojezdu na jedno nabití.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Elektromobil. *Hybrid.cz* [online]. 2009 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/slovnicek/elektromobil>
- [2] České energetické společnosti: elektromobilita musí být především dobrý byznys. In: *Hybrid.cz* [online]. 2012 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/ceske-energeticke-spolecnosti-elektromobilita-musi-byt-predevsim-dobry-byznys>
- [3] Baterie v elektromobilech. In: *Elektromobil.vseznamu.cz* [online]. 2010 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://elektromobil.vseznamu.cz/baterie-v-elektromobilech>
- [4] Palivové články. In: *Hybrid.cz* [online]. 2007 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/slovnicek/palivove-clanky>
- [5] Dobíjecí stanice pro elektromobily. *EON - Energie Plus* [online]. 2011 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://eon.energieplus.cz/ekologicka-doprava/dobijeci-stanice-pro-elektromobil>
- [6] Dobíjecí stanice. In: *Hybrid.cz* [online]. 2010 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/slovnicek/dobijeci-stanice>
- [7] Dobíjení pro elektromobil. *Google.com* [online]. 2012 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://g.co/maps/fqk6y>
- [8] Mapa dobíjecích stanic. In: *Hybrid.cz* [online]. 2012 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/mapa-stanic/?t=ele>
- [9] Rekuperace. In: *Hybrid.cz* [online]. 2009 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/tramvaj/rekuperace>
- [10] KAMEŠ, Josef. *Alternativní pohony*. 1 dotisk 1. vydání. Praha: Nakladatelství BEN – technická literatura, 2008. 232 s. ISBN 978-80-7300-127-8.
- [11] Kdo nejezdí na elektřinu, nemá v Detroitu co pohledávat. *Auto.idnes.cz* [online]. 2009 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: http://auto.idnes.cz/automoto.aspx?c=A090121_130922_automoto_fdv
- [12] Opel Ampera. In: *NetCarShow.net* [online]. 2012 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.netcarshow.com/opel/2012-ampera/>
- [13] Bioethanol. In: *Hybrid.cz* [online]. 2006 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/slovnicek/bioethanol>
- [14] Uplatnění synchronních strojů v dopravní technice. In: *Elektro* [online]. 2006 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=26832
- [15] Účinnost elektrických motorů a snižování spotřeby elektrické energie. In: *Odborné časopisy* [online]. 2008 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/37850.pdf>
- [16] UHLÍŘ, Ivan. *Elektrické stroje a pohony*. Praha: ČVUT, 2007.

- [17] SIKORA, M. Inovace systému chlazení točivých elektrických strojů s využitím CFD metod. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 182 s. Vedoucí dizertační práce prof. Ing. Ctirad Kratochvíl, DrSc. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=43847
- [18] Chlazení pístových spalovacích motorů In: *Stroje a zařízení* [online]. 2008 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: http://mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-teo-207.00_chlazenipistovychspalovacichmotoru.pdf
- [19] České energetické společnosti: elektromobilita musí být především dobrý byznys. In: *Hybrid.cz* [online]. 2012 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/ceske-energeticke-spolecnosti-elektromobilita-musi-byt-predevsim-dobry-byznys>
- [20] Test: elektromobil Mitsubishi iMiEV. In: *Hybrid.cz* [online]. 2012 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/test/elektromobil-mitsubishi-i-miev#comment-11943>
- [21] Test: Elektromobil Citroen C-Zero. In: *Hybrid.cz* [online]. 2011 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/test-elektromobil-citroen-c-zero>
- [22] Testy a recenze - Peugeot iOn. In: *Federal Cars* [online]. 2010 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://www.federalcars.cz/testy-a-recenze/peugeot/29/123/peugeot-ion--technologie/>
- [23] Elektromobil Mitsubishi jako Peugeot-Citroen. In: *Hybrid.cz* [online]. 2009 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/novinky/elektromobil-mitsubishi-jako-peugeotcitroen>
- [24] Third-gen Fortwo ED revealed. In: *AUTOCAR: First car news and reviews* [online]. 2011 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://www.autocar.co.uk/car-news/frankfurt-motor-show-2011/third-gen-fortwo-ed-revealed>
- [25] Smart ED je elektromobilem pro každodenní provoz Více zde: <http://www.tretiruka.cz/news/smart-ed-je-elektromobilem-pro-kazdodenni-provoz-/>. In: *Tretiruka.cz* [online]. 2011 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://www.tretiruka.cz/news/smart-ed-je-elektromobilem-pro-kazdodenni-provoz-/>
- [26] Smart fortwo ED. In: *Smart.com* [online]. 2012 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://cz.smart.com/produkty-electric-drive-vozidlo/46ae95fa-efa6-50aa-9b67-52e4aba5dec4>
- [27] Budoucnost smartu je v elektřině. In: *Hybrid.cz* [online]. 2009 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/clanky/budoucnost-smartu-je-v-elektrine>
- [28] Elektromobil VUT Super EL II. In: *Vysoké učení technické v Brně* [online]. 2012 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/temata-vut-f18829/elektromobil-vut-super-el-ii-d54347>
- [29] VUT Superbel II: Přestavba Superbu 2,0 TDI na elektropohon vznikla na brněnském VUT. In: *AUTOCZ* [online]. 2012 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/vut-superbel-ii-prestavba-superbu-2-0-elektropohon-59813>

- [30] Elektromobil VUT Super EL II. In: *Vysoké učení technické v Brně* [online]. 2011 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://www.vutbr.cz/temata-vut-f18829/elektromobil-vut-super-el-ii-d54347>
- [31] Uspořádání a princip činnosti frekvenčních měničů. In: *MOELLER* [online]. 2009 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://www.eatonelektrotechnika.cz/priruckazapojeni/drives079.html>
- [32] KOVÁŘ, P. Řízení asynchronního motoru pomocí frekvenčního měniče. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 64s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Radek Štohl, Ph.D. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=29899
- [33] MATELA, P. *Studie pohonu elektromobilu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 49 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Solář.
- [34] Aby baterie dohonila benzin, musí se naučit dýchat. In: *TECHNETCZ* [online]. 2011 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: http://technet.idnes.cz/aby-baterie-dohonila-benzin-musi-se-naucit-dychat-fbq-/tec_technika.aspx?c=A111219_004819_tec_technika_mla
- [35] Olověné baterie. In: *ELEKTROMOBILY: vseznamu.cz* [online]. 2010 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://elektromobil.vseznamu.cz/baterie-v-elektromobilech/oloveny-akumulator>
- [36] NiCd akumulátor. In: *ELEKTROMOBILY: vseznamu.cz* [online]. 2010 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://elektromobil.vseznamu.cz/baterie-v-elektromobilech/nicd-akumulatory>
- [37] NiMH akumulátory. In: *ELEKTROMOBILY: vseznamu.cz* [online]. 2010 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://elektromobil.vseznamu.cz/baterie-v-elektromobilech/nimh-akumulatory>
- [38] Získávání energeticky významných prvků z oceánů: Lithium. In: *TZBINFO* [online]. 2005 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2595-ziskavani-energeticky-vyznamnych-prvku-z-oceanu-i-lithium>
- [39] Li-Ion baterie. In: *ELEKTROMOBILY: vseznamu.cz* [online]. 2010 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://elektromobil.vseznamu.cz/baterie-v-elektromobilech/li-ion-akumulatory>
- [40] *Závodní baterie* [online]. 2012 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.zavodni-baterie.cz/>
- [41] LiFePO₄ akumulátory. In: *ELEKTROMOBILY: vseznamu.cz* [online]. 2010 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://elektromobil.vseznamu.cz/baterie-v-elektromobilech/lifepo4-akumulatory>
- [42] Test smart ED: spotřeba elektromobilu. In: *Hybrid.cz* [online]. 2011 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/test-smart-ed-spotreba-elektromobilu>
- [43] Akumulátory a baterie. In: *Http://video.aztip.cz* [online]. 2008 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://video.aztip.cz/technicke-vybaveni/akumulatory-a-baterie>

- [44] EV Fluid Heaters. In: *Metric Mind Corporation* [online]. 2011 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.metricmind.com/category/ev-fluid-heaters/>
- [45] Ing. KOLOMAZNÍK, Milan. *Vyhřívání baterií* [online]. 19. května 2012 18:26; [cit. 2012-05-21]. Osobní e-mailová komunikace.
- [46] The heating. *Metricmind.com* [online]. 2009 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: http://www.metricmind.com/ac_honda/heating.htm
- [47] Norsko pod proudem a na vlastní kůži. In: *Hybrid.cz* [online]. 2011 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/norsko-pod-proudem-na-vlastni-kuzi>
- [48] Press material from DEFA WarmUp. In: *DEFA: WarmUp* [online]. 2011 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: http://wup.defa.com/en/wup_press_material.html
- [49] Ing. ČERNÁ, Dita. *Tepelná čerpadla - VELETRH BRNO* [online]. 3. května 2012 9:48 [cit. 2012-05-21]. Osobní e-mailová komunikace.
- [50] Peltierovy termobaterie. In: *Hw.cz* [online]. 1999 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/peltierovy-termobaterie.html>
- [51] Peltierův článek. In: *Student.hostuju.cz* [online]. 2008 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: http://studentkmt.hostuju.cz/Materialy/LS_2/IMPEE/IMPEE_Zapocet3.pdf
- [52] Stěnové topení - moderní způsob vytápění s nízkou spotřebou energie. In: *EKOMPLEX: instalatéri* [online]. 2012 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.topeni-topenari.eu/topeni/systemy-vytapeni/stenove.php>
- [53] Princip sálavého vytápění. In: *USBY: sálavé topení* [online]. 2010 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.usby.cz/princip-infratopeni/>
- [54] Infra topení. In: *Sunnyhouse: teplo lépe a jinak* [online]. 2010 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.sunnyhouse.cz/infra-topeni>
- [55] Základní informace - autoklimatizace. In: *Autoklimatizace* [online]. 2012 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: http://www.autoklimatizace.cz/autoklimatizace_pro_osobni_auta_zakladni_info_rmace.php
- [56] Ing. KOMRSKA, Tomáš. *Vytápění elektromobilů* [online]. 31. ledna 2012 10:13; [cit. 2012-05-21]. Osobní e-mailová komunikace.
- [57] Nezávislá topení a nezávislá ochlazovací technika. In: *EBERSPAECHER* [online]. 2011 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: http://www.eberspaecher.cz/servlet/PB/show/1055983_l1/Vseobecna_brozura.pdf
- [58] Nezávislé topení. ŠÍP, Petr. *AutoElektro* [online]. 2011 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.autosip.com/topeni.html>
- [59] Paliva v dopravě. *Cittadella: multimediální ročenka životního prostředí* [online]. 2011 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: http://www.cittadella.cz/cenia/index.php?p=paliva_v_doprave&site=doprava

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Veličina	Symbol	Jednotka
Průměrný výkon elektromotoru	P	[W]
Příkon frekvenčního měniče	P_0	[W]
Tepelné ztráty	P_{odp}	[W]
Ztrátový výkon	P_z	[W]
Účinnost elektrických zařízení	ϑ	[%]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1 – Ukázka dobíjení elektromobilu Smart fortwo ED [5]	13
Obr. 2.2 – Mapa dobíjecích stanic v ČR [8]	14
Obr. 2.3 – Mapa dobíjecích stanic v Praze [8]	14
Obr. 2.4 – Opel Ampera [12]	15
Obr. 3.1 – Schéma chlazení elektromotoru	17
Obr. 3.2 – Mitsubishi iMiEV [23]	18
Obr. 3.3 – Smart fortwo ED [27]	19
Obr. 3.4 – Elektromobil VUT Super EL II [30]	20
Obr. 3.5 – Akumulátory LiFePO ₄ v elektromobilu VUT Super EL II [30]	25
Obr. 4.1 – Ohřev pomocí odporových svíček pro Ford Focus Elettric [45]	29
Obr. 4.2 – Elektrické kapalinové topení MesDea [46]	30
Obr. 4.3 – Dobíjení automobilu při stání vozu v mrazu [48]	31
Obr. 4.4 – Schéma funkce ohřevu [49]	32
Obr. 4.5 – Schéma funkce chlazení [49]	33
Obr. 4.6 – Peltierův článek [50]	35
Obr. 4.7 – Termobaterie složená z několika Peltierových článků [51]	35
Obr. 5.1 – Schéma automobilové klimatizace [55]	37
Obr. 6.1 – Namrznuté auto [55]	38
Obr. 6.2 – Řez teplovodním topením [55]	39
Obr. 6.3 – Řez teplovzdušným topením [55]	40
Obr. 7.1 – Schéma 1. konstrukčního návrhu	42
Obr. 7.2 – Schéma 2. konstrukčního návrhu	43
Obr. 7.3 – Schéma 3. konstrukčního návrhu	43
Obr. 7.4 – Schéma 4. konstrukčního návrhu	44
Obr. 7.5 – Schéma 5. konstrukčního návrhu	45